

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ТИПЫ ГЛАВНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЛЕСОПИЛЬНОЙ РАМЫ

Захарченко П.И.

ОАО «ПЭМЗ им. К. Маркса»

Чекавский Г.С., Карась С.В.

Донецкий государственный технический университет

olga@pandora.kita.dgtu.donetsk.ua

In the article there are characteristic and most important technological requirements to the main electric drive of the gate-saw frames on the basis of the asynchronous wound-rotor electric motor in the real operating conditions. The main reasons of a low reliability of gate-saw frames operation with the electric drive of this type are specified. There are two alternate electric drives on the basis of an asynchronous cage-rotor motor are considered. The reasons about necessity of numerical researches with use of the computer are resulted with the purpose of a choice of the most preferable system for given working conditions, ensuring the required characteristics of a motor and electric drive as a whole, and also high reliability of woodworking complex operation.

Самым крупным производителем и поставщиком лесопильных рам (в дальнейшем – лесорам) 2P75-1(A) и 2P75-2(A) в странах СНГ и дальнего зарубежья является Вологодский завод «Северный Коммунар» [1].

Лесорамы среднего просвета 2P75-1(A) и 2P75-2(A) предназначены для распиловки древесины, когда в потоке могут быть бревна различных диаметров и длин (см. табл.1), различных сортов древесины (древесина различной плотности, различной степени насыщенности участками с уплотненной структурой) при распиловке на доски и др. при годовой производительности $(1,1 \dots 1,8) \cdot 10^5 \text{ м}^3$ пиломатериалов.

Таблица 1 – Важнейшие параметры лесорам

Параметры	Тип	
	2P75-1 (2P75-1A)*	2P75-2 (2P75-2A)**
Ширина просвета пильной рамки, мм	750	750
Величина хода пильной рамки, мм	600	600
Частота вращения коленчатого вала, мин ⁻¹	325	325
Длина распиливаемого материала, м	3,0...7,5	3,0...7,5
Диаметр распиливаемого бревна, мм:		
Наибольший	650	–
Наименьший	100	–
Наибольшая высота распиливаемого бруса, мм	–	400
Наименьшая толщина выпиливаемой доски, мм	19,16	19,16
Просвет между верхними и нижними вальцами, мм	80...750	80...420
Подача бревна или бруса на один оборот коленчатого вала, мм/об	9...65 (5...80)	9...65 (5...80)
Наибольшее количество пил в поставе	12	14
Род тока питающей сети	переменный трехфазный	
Частота тока, Гц	50	50
Напряжение, В	220/380	220/380
Суммарная мощность электродвигателей, кВт	128,71	121,09
Габарит, мм:		
Длина	3633 (3595)	3633 (3595)
Ширина	2890 (2920)	2890 (2920)
Высота	5789	5439
Масса лесорамы с принадлежностями и электроаппаратурой, кг	17400 (18000)	17000 (17600)

* Рамы лесопильные двухэтажные 2P75-1, 2P75-1A предназначены для распиловки бревен на брусья и необрезные доски.
 ** Рамы лесопильные двухэтажные 2P75-2, 2P75-2A предназначены для распиловки брусев на доски.

Такая производительность и сортамент лесоматериалов и нередко удаленность лесопильных заводов и ДОКов от центров и распределительных подстанций требует использования для привода лесорам высоконадежного, но несложного и достаточно простого в обслуживании электропривода (ЭП).

В табл.1 представлены технические характеристики лесорам 2P75-1 (2P75-1A) и 2P75-2 (2P75-2A) с так называемым средним просветом, а также важнейшие параметры, определяющие режим работы, нагрузку (мощность) и предпочтительный тип электропривода.

Опрос более 120-ти предприятий деревообрабатывающей промышленности, эксплуатирующих лесорамы, показал, что на практике наиболее широкое применение нашли ЭП переменного тока мощностью 75 и 90 кВт на базе асинхронных двигателей (АД) с фазным ротором типа ВАОК-315-S8 ($P_n=75$ кВт) и ВАОК-315-M8 ($P_n=90$ кВт). При этом нередки случаи значительного удаления лесопильных комплексов от распределительных подстанций, что не способствует надежной и устойчивой работе ЭП лесорам, т.к. в этом случае невысокое качество питающего напряжения в период пуска дополнительно ухудшается за счет пусковых токов. Это обстоятельство, с одной стороны, не позволяет реализовать электромеханические характеристики АД, а с другой – в значительной мере затягивает процесс пуска, обуславливая повышенный перегрев приводного двигателя, а в отдельных случаях и его повреждение. Так, надежно зарекомендовавшие себя в эксплуатации в угольной промышленности АД с фазным ротором типа ВАОК-315-S8 и ВАОК-315-M8, разработанные УкрНИИВЭ и изготавливаемые серийно Первомайским электромеханическим заводом им. К. Маркса, которыми комплектовались ЭП лесорам, стали выходить из строя из-за перегрева щеточного аппарата ротора. Это сделало актуальным детальный анализ условий эксплуатации и причин повреждения указанных приводных двигателей. Кроме этого, возникла задача поиска альтернативного варианта электропривода.

Технически и экономически оправданным в рассматриваемом случае может быть использование взрывозащищенных (взрывобезопасных) АД с короткозамкнутым ротором, которые достаточно просты по конструкции, длительно и без отказов работают в условиях внешней среды, характеризующейся повышенной влажностью, запыленностью и агрессивностью. Они просты в обслуживании и хорошо зарекомендовали себя в эксплуатации при работе в сложных условиях угольной и горнорудной промышленности.

При этом в лесорамах возможно использование ЭП с короткозамкнутым АД двух типов:

1. *Электропривод с поперечной компенсацией* (полной или частичной) реактивной мощности, реактивных токов, потребляемых АД в процессе его пуска при ступенчатом вводе-выводе компенсирующих мощностей, и в установившемся режиме, используя для этой цели косинусные конденсаторы типа КЭК;
2. *Частотно-регулируемый электропривод* по схеме ТПЧ-АД, позволяющий регулировать частоту вращения АД по одному из законов частотного регулирования при использовании в качестве источника питания двигателя тиристорного преобразователя частоты (ТПЧ).

Электропривод на базе короткозамкнутого АД с поперечной компенсацией реактивной мощности.

Так как в большей части случаев лесопильные (лесоперерабатывающие) заводы и деревообрабатывающие комбинаты находятся на значительном удалении от распределительных подстанций, то напряжение на клеммах двигателя существенно отличается от номинального. При пуске АД в этих условиях пусковые токи дополнительно увеличивают потери напряжения в подводящей сети, дополнительно снижая напряжение на клеммах АД. Известно, что это ухудшает характеристики двигателя (снижается пусковой момент $M_{п}$, увеличиваются время пуска и потери, увеличивается перегрев активных частей АД).

В этом случае использование поперечной компенсации реактивной мощности, потребляемой АД, позволяет разгрузить питающую сеть (рис.1) от реактивных токов, снизив полный ток в питающей сети (рис.2), и потери напряжения в ней, поднять уровень напряжения на клеммах АД, улучшив электромеханическую характеристику приводного двигателя (рис.3), сократив время пуска и снизив связанный с этим перегрев АД.

Электропривод по схеме ТПЧ-АД.

Использование асинхронного частотно-регулируемого ЭП позволяет в большой степени адаптировать АД к уровню напряжения в питающей сети, исключив жесткую зависимость темпа пуска ($d\omega/dt$), времени пуска t_n от величины пускового момента $M_{п}$ двигателя, и путем изменения частоты вращения ротора АД обеспечить наиболее рациональный режим резания и подачи распиловочного материала, а следовательно, и нагрузку на сам АД и элементы трансмиссии, чем исключить возможность разрушения как самой трансмиссии, так и режущего инструмента (пил). Надежная работа лесопильных рам обеспечивает устойчивую, бесперебойную работу всего лесоперерабатывающего комплекса и непрерывную производственную деятельность лесоперерабатывающего предприятия в целом.

Патентный, библиографический поиск показал, что в промышленной практике стран дальнего зарубежья для привода лесопильных станков с ленточными пилами, оцилиндровочных, фрезерно-брусующих станков используются частотно-регулируемые асинхронные электроприводы с преобразователями частоты типа SAMI фирмы Strömberg [2].

Технологические особенности распиловки бревен (древесных стволов), их величина и конструктивные особенности лесорам, обеспечивающих эту технологию, определяют характер нагрузки главного ЭП. Такими особенностями являются:

1. Наличие кривошипно-шатунного механизма, имеющего достаточно большой маховый момент (момент инерции), обеспечивающего плоскопараллельное перемещение пильной рамки с установленными в ней режущими пилами (до 14 штук).
2. Пульсирующая подача бревен в поле резания с различным шагом (9...65 или 5...80 мм) на один оборот коленчатого вала ЭП (см. табл.1) формирует гармоническую составляющую в моменте сопротивления.

3. Широкий диапазон изменения диаметра распиливаемых бревен и плотности древесины, насыщенной уплотненными участками, обусловленными сучковатостью распиливаемых бревен.

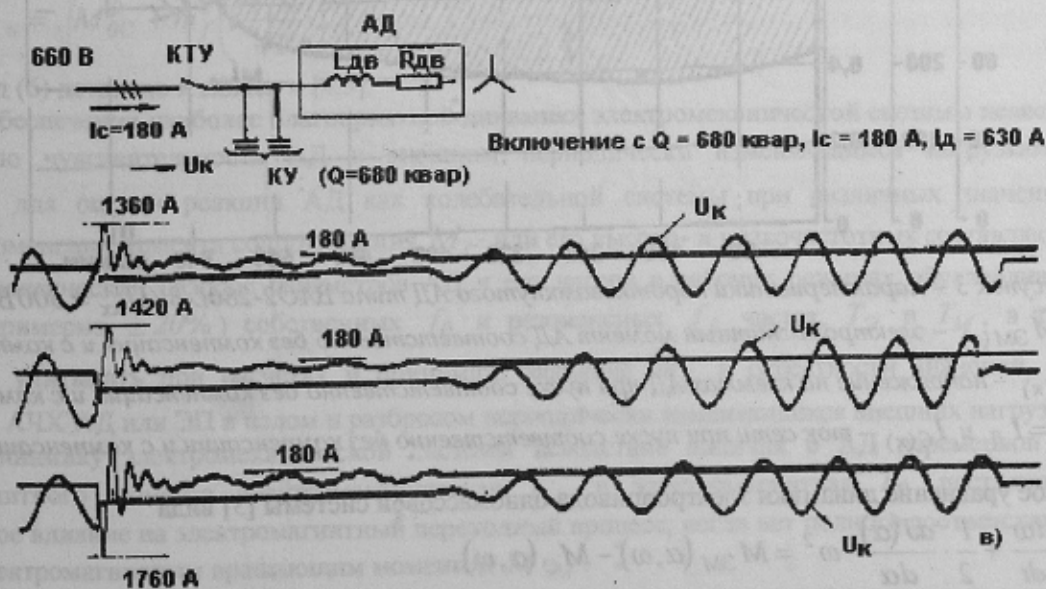
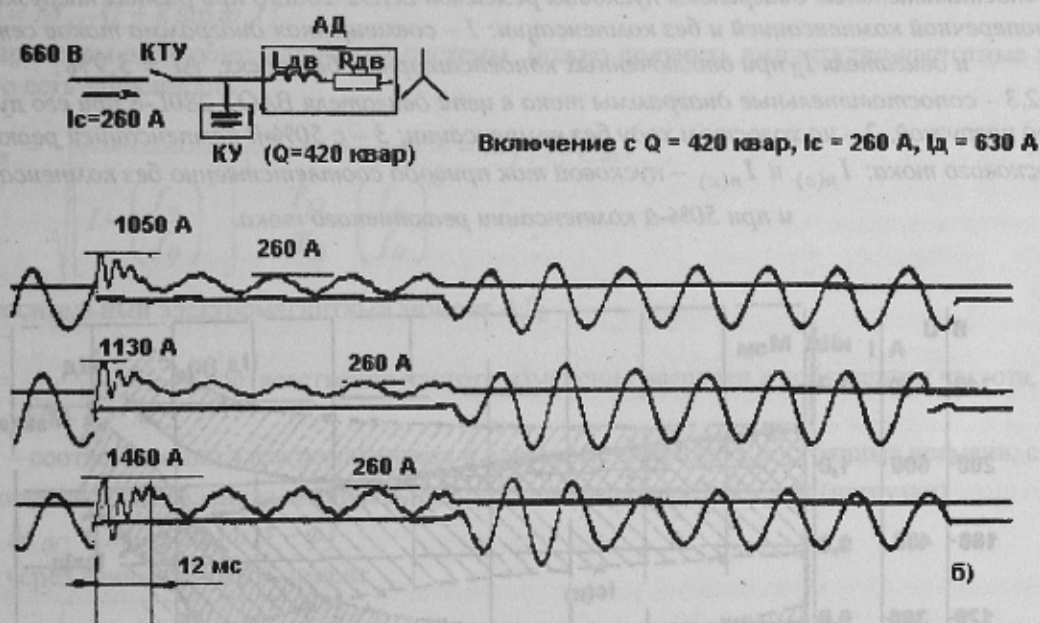
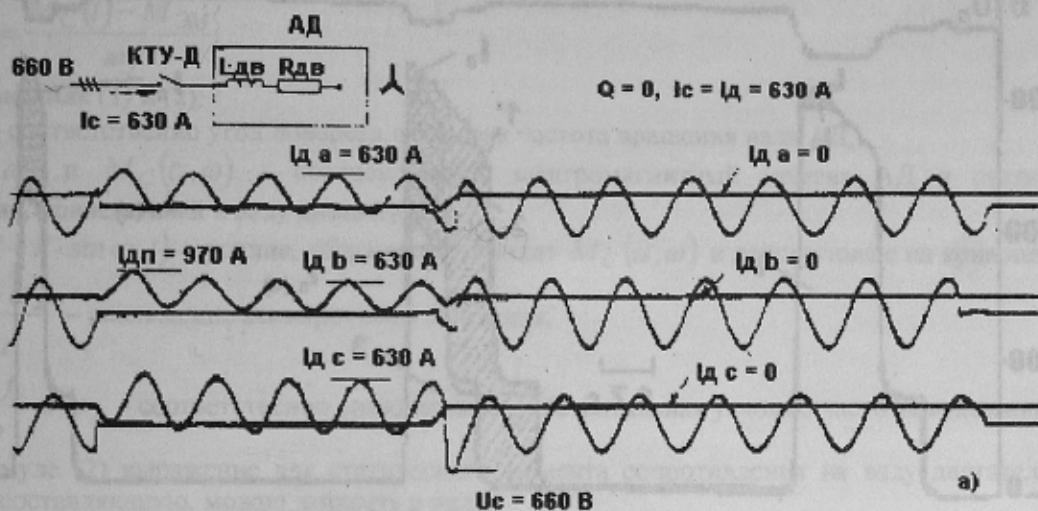


Рисунок 1 – Осциллограммы токов сети в случаях пуска (включения) АД с различной степенью компенсации потребляемой реактивной мощности (токов) ($U_c = 660 \text{ В}$): а – без компенсации ($Q_k = 0$); б – с компенсацией ($Q_k = 420 \text{ квар}$); в – с компенсацией ($Q_k = 680 \text{ квар}$).

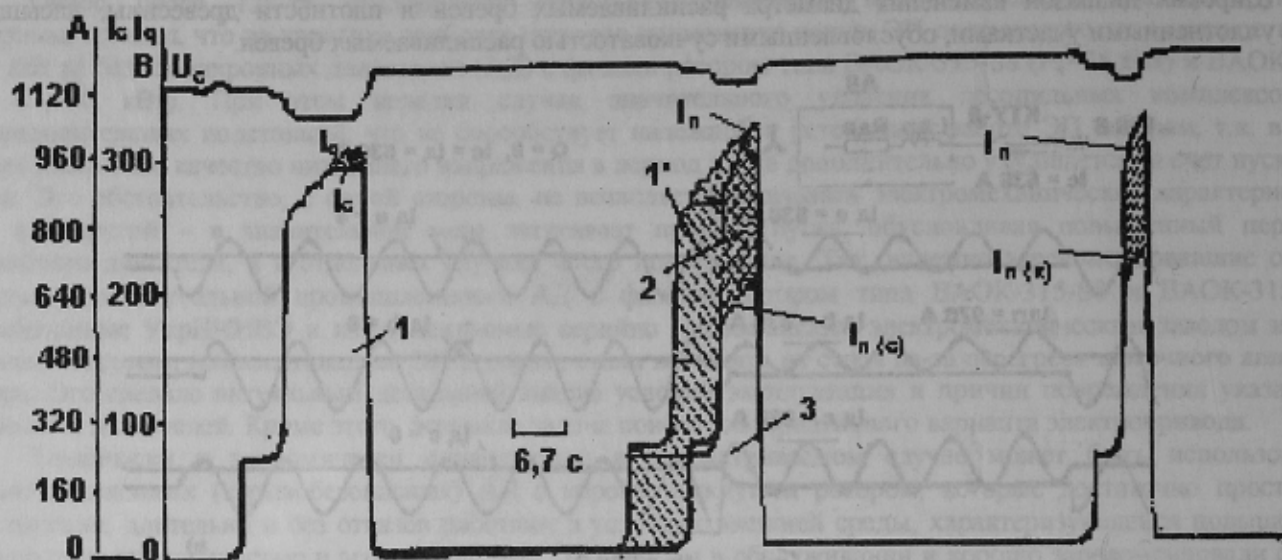


Рисунок 2 – Сопоставительные диаграммы пусковых режимов ВАО2-280L-8 при разных нагрузках с поперечной компенсацией и без компенсации: 1 – совмещенная диаграмма токов сети I_c и двигателя I_d при отключенных конденсаторных батареях, $\Delta I = 3,9\%$; 1', 2, 3 – сопоставительные диаграммы тока в цепи двигателя ВАО2-280L-8 при его пуске: 1' – под нагрузкой, 2 – на холостом ходу без компенсации; 3 – с 50%-й компенсацией реактивного пускового тока; $I_{n(c)}$ и $I_{n(k)}$ – пусковой ток привода соответственно без компенсации и при 50%-й компенсации реактивного тока.

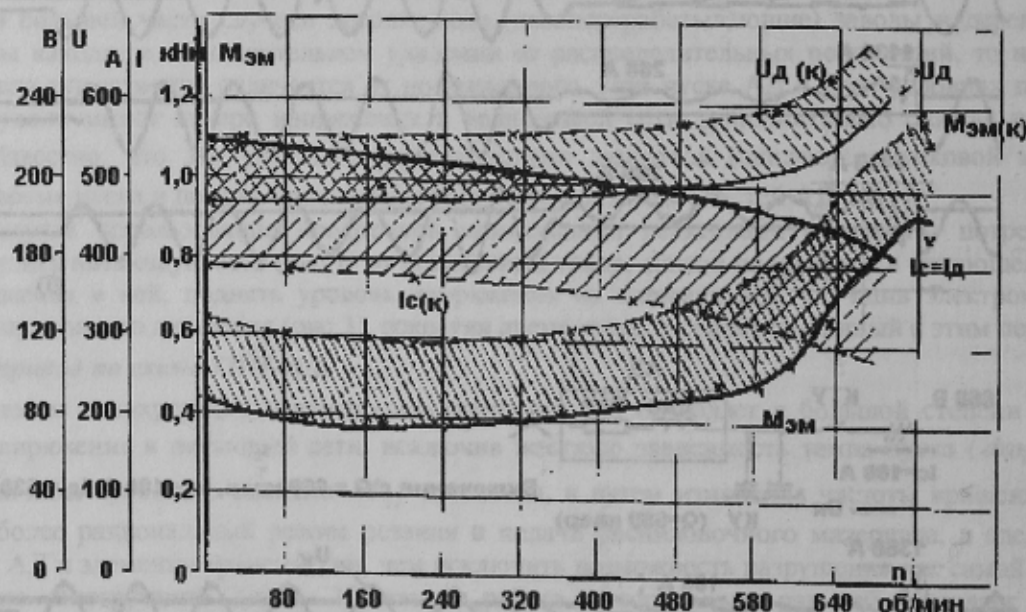


Рисунок 3 – Характеристики короткозамкнутого АД типа ВАО2-280L-8 ($U_{xx} = 300 В$):

$M_{ЭМ}$ и $M_{ЭМ(k)}$ – электромагнитный момент АД соответственно без компенсации и с компенсацией;
 U_D и $U_{D(k)}$ – напряжение на клеммах АД при пуске соответственно без компенсации и с компенсацией;
 $I_C = I_D$ и $I_{C(k)}$ – ток сети при пуске соответственно без компенсации и с компенсацией.

Основное уравнение динамики электропривода одномассовой системы [3] вида

$$J(\alpha) \cdot \frac{d\omega}{dt} + \frac{1}{2} \cdot \frac{dJ(\alpha)}{d\alpha} \cdot \omega^2 = M_{ЭМ}(\alpha, \omega) - M_C(\alpha, \omega), \quad (1)$$

используется при расчетах характеристик кривошипно-шатунных механизмов, когда циклически изменяется соотношение между угловой частотой вращения ведущего (вращающего) и ведомых поступательно движущихся звеньев, то есть когда при $\omega = const$ скорость движения ведомого звена v – циклическая функция с постоянным периодом.

При малой величине момента инерции, изменяющегося в функции угла поворота, уравнение (1) примет вид:

$$J \frac{dS}{dt} = \frac{M_C(t) - M_{ЭМ}}{\omega_1} \quad (2)$$

В уравнениях (1) и (2):

α и ω – соответственно угол поворота и угловая частота вращения вала АД;

$M_{ЭМ}(\alpha, \omega)$ и $M_C(\alpha, \omega)$ – соответственно электромагнитный момент АД и статический момент сопротивления, приведенный к валу двигателя;

$F = F_0(1 + k \cdot \sin \omega_n t)$ – усилие, образующее момент $M_C(\alpha, \omega)$ и действующее на кривошип;

$S = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1}$ – скольжение асинхронного двигателя;

$\omega_1 = \frac{60f}{p}$ и ω_2 – соответственно синхронная и действительная угловые частоты вращения вала ротора.

В формуле (2) выражение для статического момента сопротивления на валу двигателя, содержащего переменную составляющую, можно записать в виде:

$$M_C(t) = M_{0C}(1 + k \sin \omega_n t) \quad (3)$$

Зная параметры электромеханической системы, можно получить амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) [4,5], то есть зависимость

$$M_{ЭМm} = \frac{M_{Cm}}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{f_n}{f_0}\right)^2\right]^2 + \frac{T_M}{T_{Э}} \cdot \left(\frac{f_n}{f_0}\right)^2}} = m_f \cdot M_{Cm} \quad (4)$$

где m_f – относительный электромагнитный момент АД;

f_n и $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{T_{Э}T_M}}$ – соответственно частота изменения нагрузки и собственная частота, Гц;

$T_{Э}$ и T_M – соответственно электромагнитная и электромеханическая постоянные времени, с.

Требуемая установленная мощность АД при моменте сопротивления (нагрузки)

$$M_C = M_{0C} + M_{Cm} \sin(\omega_n t - \varphi) \quad (5)$$

определяется через эквивалентный момент

$$M_{ЭМэ} = \sqrt{M_{0C}^2 + m_f^2 \left(\frac{M_{Cm}}{\sqrt{2}}\right)^2} \quad (6)$$

Вывод (6) детально изложен в [4,5].

Для обеспечения наиболее благоприятной динамики электромеханической системы целесообразно иметь минимальную чувствительность АД к внешним периодически изменяющимся нагрузкам. Знание m_f необходимо для оценки реакции АД как колебательной системы при различных значениях частотного диапазона изменения момента сопротивления M_C или его высоко- и низкочастотных составляющих.

Технологический разброс параметров АД и его нагрев в рабочих режимах обуславливают различные значения (примерно $\pm 20\%$) собственных f_0 и резонансных f_p частот, $T_{Э}$ и T_M , а также m_f , что необходимо учитывать при расчетах и принимать значение m_f в окрестности значений, обусловленных изменением АЧХ АД или ЭП в целом и разбросом периодически изменяющихся внешних нагрузок.

На динамику электромеханической системы вследствие наличия в АД переменной составляющей электромагнитного момента электромеханическая T_M и электромагнитная $T_{Э}$ постоянные оказывают существенное влияние на электромагнитный переходный процесс, когда нет полного соответствия между током АД и его электромагнитным вращающим моментом $M_{ЭМ}$.

Об устойчивости работы АД в конкретных условиях можно судить, оценивая критический вращающий момент M_K в реальных условиях эксплуатации, S_K , а также момент инерции J (маховый момент GD^2) системы и частоту колебаний f_n периодической составляющей момента сопротивления (нагрузки), степень влияния которой, а также электромагнитного момента АД на усилия в электромеханической системе зависит от

коэффициента инерции системы K_f , собственных f_0 и резонансных $f_p = f_0 \sqrt{1 - \frac{T_M}{2T_3}}$ частот

электромеханической системы.

В случае наличия в электромеханической системе заметных диссипативных сил даже при резонансе относительный электромагнитный момент имеет конечное, ограниченное значение.

При неудачном выборе элементов системы ЭП возможны пульсации электромагнитного момента и динамических усилий, способствующих, по меньшей мере, снижению долговечности системы.

Электромагнитная инерция АД (обмотки двигателя) проявляется при выраженной динамике ротора.

Теоретический анализ динамики электромеханической системы, какой является лесорама типа 2Р75, показал необходимость исследования АЧХ, величины m_f электропривода при действующей в системе периодической составляющей момента сопротивления, диссипативных и других сил.

Итак, сложный характер нагрузки главного ЭП лесопильной рамы при выборе или поиске предпочтительного, альтернативного типа ЭП требует учета динамической и амплитудно-частотной характеристик электропривода в целом.

Для оценки динамических усилий, имеющих место в системе, и влияния, которое оказывают на них электромагнитные переходные процессы в АД, необходимы исследования на математических моделях с использованием ЭВМ.

Анализ осциллограмм тока (рис.1) показывает, что в случае реализации первого варианта ЭП (АД с короткозамкнутым ротором и ступенчатой поперечной компенсацией реактивной мощности, потребляемой приводным двигателем в процессе пуска) целесообразно теоретически (на матмоделях) исследовать переходные процессы в электромагнитной системе ЭП при разных мощностях (75, 90 и 110 кВт) и полюсностях ($2p=6$ и $2p=8$) приводных АД, разных уровнях (степени) компенсации потребляемой АД реактивной мощности с целью выработки рекомендаций по выбору наиболее рациональных параметров и элементов системы ЭП и оценки ее предпочтительности.

В случае реализации варианта ЭП с короткозамкнутым АД целесообразным и необходимым представляется:

- исследование динамических свойств системы и выявление существующих ограничений их применения;
- исследование динамики нагрева активных частей АД и определение через нее ограничений;
- дать технико-экономическую оценку предпочтительности каждого из типов ЭП, определив рациональную область их использования в главном электроприводе лесопильной рамы и в электромеханических системах, аналогичных исследуемой;
- оценить технико-экономическую целесообразность использования комбинированного ЭП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лесопильный поток с лесопильными рамами среднего просвета / Выставочно-рекламный проспект. М., Станкоимпорт, – Внешторгиздат, 1989. – 20 с.
2. Электроприводы лесопильного завода с преобразователями частоты SAMI (Применение SAMI 40SU84-05) / Рекламный проспект фирмы Strömberg. "Kymmene-Strömberg Corporation. Helsinki. Finland, – 1984. – 4 р.
3. Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Теория электропривода / Учебник для вузов. – С.-Пб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отд-ние, 1994. – 496 с., ил.
4. Пинчук И.С. Переходные процессы в асинхронных двигателях при периодической нагрузке / «Электричество». – М., Энергия, 1957, №6. – С.27–30.
5. Карась С.В., Волковой Н.Н., Черкасская Р.Е. Сравнение амплитудно-частотных характеристик взрывозащищенных электродвигателей специальных серий КО, ВАО и ВР / тр. ВНИИВЭ. – М., Энергия, 1976, – Вып. IX. – С.85–95.