

А. А. ХУДЯЕВ, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»;

В. В. ПОЛЕНКО, преп.-стаж. НТУ «ХПИ».

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ПОВЫШЕНИЯ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ В ИТЕРАЦИОННОМ МНОГОКАНАЛЬНОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ПОДАЧИ

Постановка задачи. В работах [1, 2] установлено, что в итерационных многоканальных дифференциальных электроприводах (ЭП) механизмов подачи (МП) станков значительно повышается инерционность (увеличивается время разгона) приводного механизма (ПМ) по сравнению с аналогичными традиционными одноканальными ЭП подачи. Это приводит к проигрышу в быстродействии в зоне средних и больших подач рабочего органа (РО) итерационных дифференциальных приводов по сравнению с современными одноканальными безредукторными ЭП подачи [2, 3]. Полностью устранить указанный выше недостаток многоканальных ЭП подачи с механическими дифференциалами (МД) не удастся не только нежелательным повышением мощности приводов отдельных каналов, но и изменением типа исполнительных двигателей (ИД) и повышением быстродействия силовых преобразователей уточняющих приводов [4, 5]. В данной работе в качестве альтернативного варианта двух- и трехканальному дифференциальному ЭП МП предлагается аналогичный по назначению многоканальный дифференциально-редукторный ЭП МП с перенастраиваемым повышающим редуктором (ППР), обеспечивающий возможность сравнительного повышения быстродействия такого ЭП во всем диапазоне подачи РО.

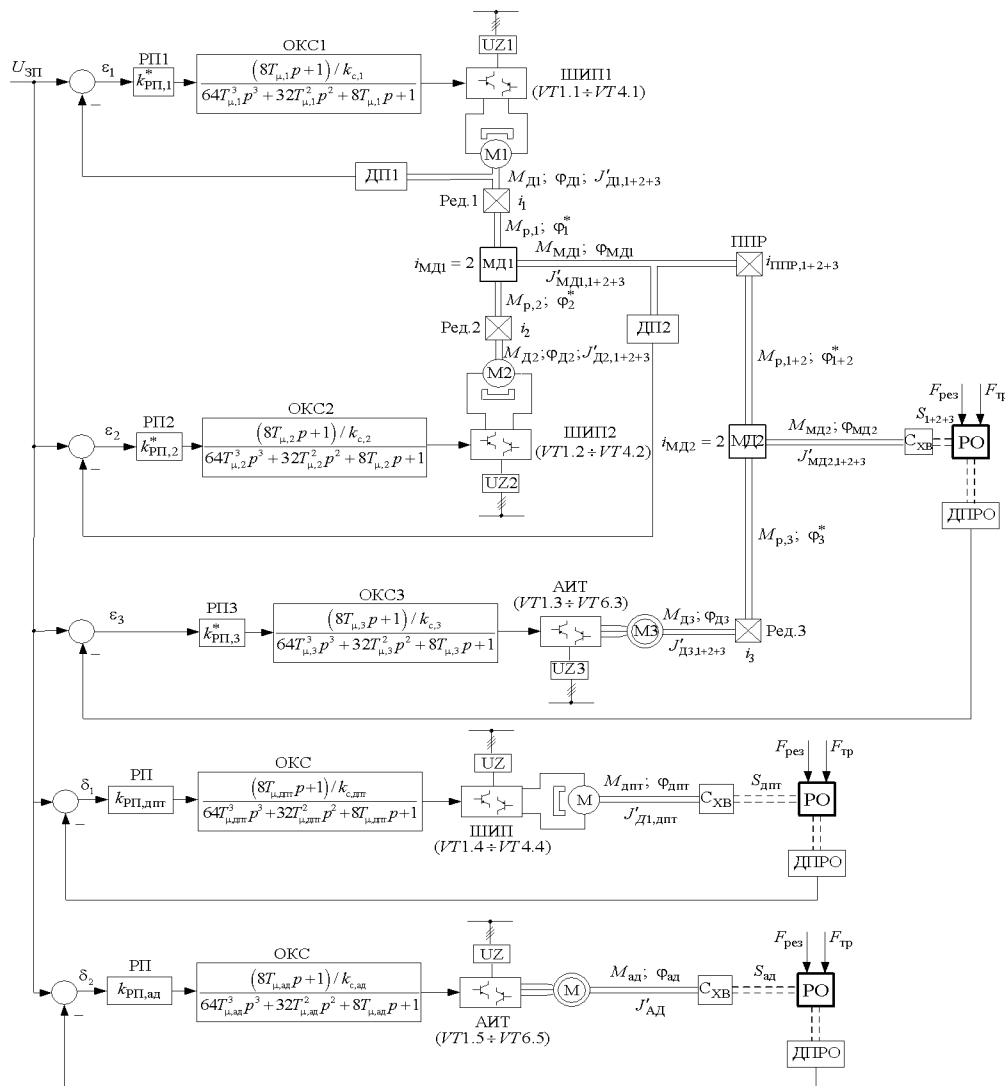


Рисунок 1 – Обобщенные структурно-функциональные схемы трехканального ЭП МП с ППР и сравниваемых одноканальных ЭП подачи станка

Упрощенная схема конструкции трехдвигательного МП, соответствующая кинематическая схема и уточненная математическая модель движения предлагаемого трехканального ЭП рассмотрены в работе [6].

Цель работы. На основании уточненной математической и компьютерной модели движения ЭП подачи станка модели ИР1600МФ4 выполнить сравнительный анализ качества функционирования двух- и трехканального дифференциально-редукторного ЭП МП с ППР с целью выявления синергетического эффекта повышения быстродействия в итерационных многоканальных ЭП подачи с типовой настройкой каналов.

Материал исследования. Предлагаемый многоканальный ЭП подачи, построенный по итерационному принципу, включает первый (основной) К-1, второй (уточняющий) К-2, а также третий (точный) К-3 (для трехканального ЭП) каналы управления по углу с соответствующими подчиненными контурами скорости, построенными на симметричный оптимум (СО).

Электроприводы основного К-1 и уточняющего К-2 каналов могут быть построены на базе типовых транзисторных ЭП постоянного тока с силовыми частями типа ШИП-ДПТ. Точный канал К-3 предлагается строить на базе привода переменного тока. Сравнение производится с аналогичным по назначению традиционным одноканальным (автономным) безредукторным ЭП подачи с различными вариантами силовой части привода: типа ШИП-ДПТ и типа ПЧ-АД.

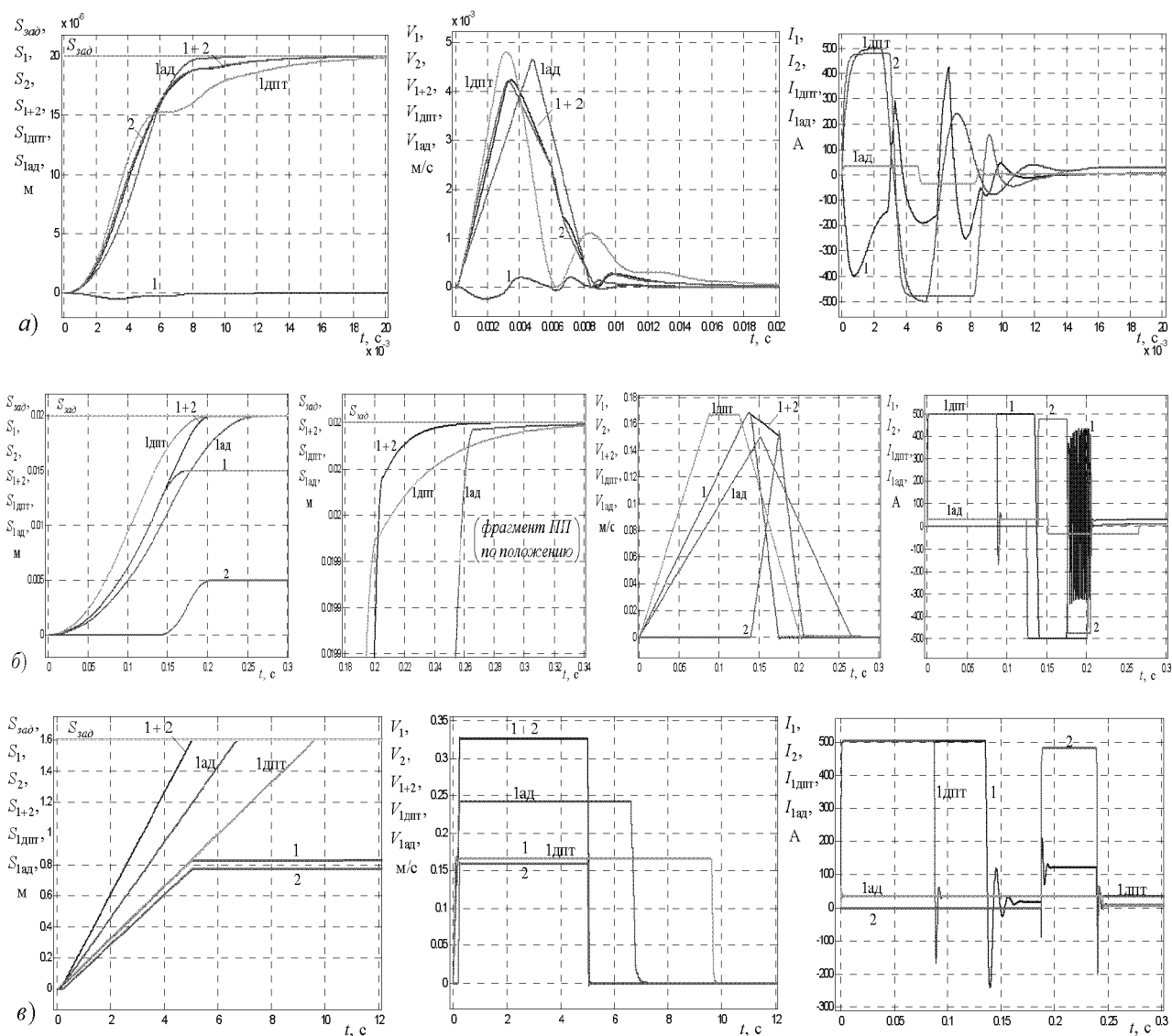


Рисунок 2 – Переходные процессы (ПП) положения, скорости и тока в двухканальном дифференциально-редукторном компенсированном ЭП и сравниваемых одноканальных (автономных) ЭП подачи типа ШИП-ДПТ и типа ПЧ-АД при отработке заданных перемещений РО: а – $S_M = 0,02$ мм; б – $S_B = 20$ мм; в – $S_B = 1600$ мм

Обобщенная структурно-функциональная схема итерационного трехканального ЭП МП с системой дифференциалов МД1-МД2 и редуктором ППР, а также схемы сравниваемых одноканальных (автономных) безредукторных ЭП подачи приведены на рис. 1, где обозначены: РП1, РП2, РП3 и РП – П-регуляторы положения соответствующих контуров регулирования; ОКС1, ОКС2, ОКС3 и ОКС – оптимизированные контуры скорости соответствующих приводов; ДП1, ДП2 и ДПРО – датчики положения валов ИД М1 и М2 и линейного перемещения РО; $J_{д1,1+2+3}$, $J_{д2,1+2+3}$, $J_{д3,1+2+3}$ и $J_{мд1,1+2+3}$, $J_{мд2,1+2+3}$ – моменты инерции МП, приведенные к соответствующим валам; $M_{дi}(i=1,2,3)$ и $M_{мд1}$, $M_{мд2}$ – вращающие моменты, развиваемые соответственно ИД Д1, Д2, Д3 и дифференциалами МД1, МД2; $M_{р,i}(i=1,2,3)$ и $M_{р,1+2}$ – реактивные моменты на валах соответственно ИД Д1, Д2, Д3 и редуктора ППР; $\varphi_{дi}(i=1,2,3)$ и $\varphi_{мд1}$, $\varphi_{мд2}$ – углы поворота валов соответственно ИД Д1, Д2, Д3 и выходных валов МД1, МД2.

Результаты исследования. Схема моделирования итерационного многоканального ЭП МП с ППР построена на основании разработанной математической модели движения [6] и с учетом обобщенной структурно-функциональной схемы рассматриваемого ЭП (см. рис. 1). Результаты компьютерного моделирования показали значительные потенциальные преимущества в быстродействии двухканального компенсированного ЭП (с приводами каналов типа ШИП-ДПТ) по сравнению с аналогичным по назначению одноканальным ЭП подачи типа ШИП-ДПТ (рис. 2 и табл. 1). Введение ППР в трехдвигательный дифференциальный МП и оптимизация последовательности взаимодействия отдельных приводов позволили обеспечить сравнительное повышение быстродействия соответствующего трехканального дифференциально-редукторного ЭП подачи (по сравнению с аналогичным трехканальным дифференциальным ЭП подачи) во всем диапазоне перемещений РО станка. Преимущества в быстродействии предлагаемого трехканального компенсированного ЭП (с точным приводом типа ПЧ-АД) проявляются не только по сравнению с одноканальным ЭП подачи типа ШИП-ДПТ, но и по сравнению с перспективным одноканальным ЭП типа ПЧ-АД (рис. 3 и табл. 1).

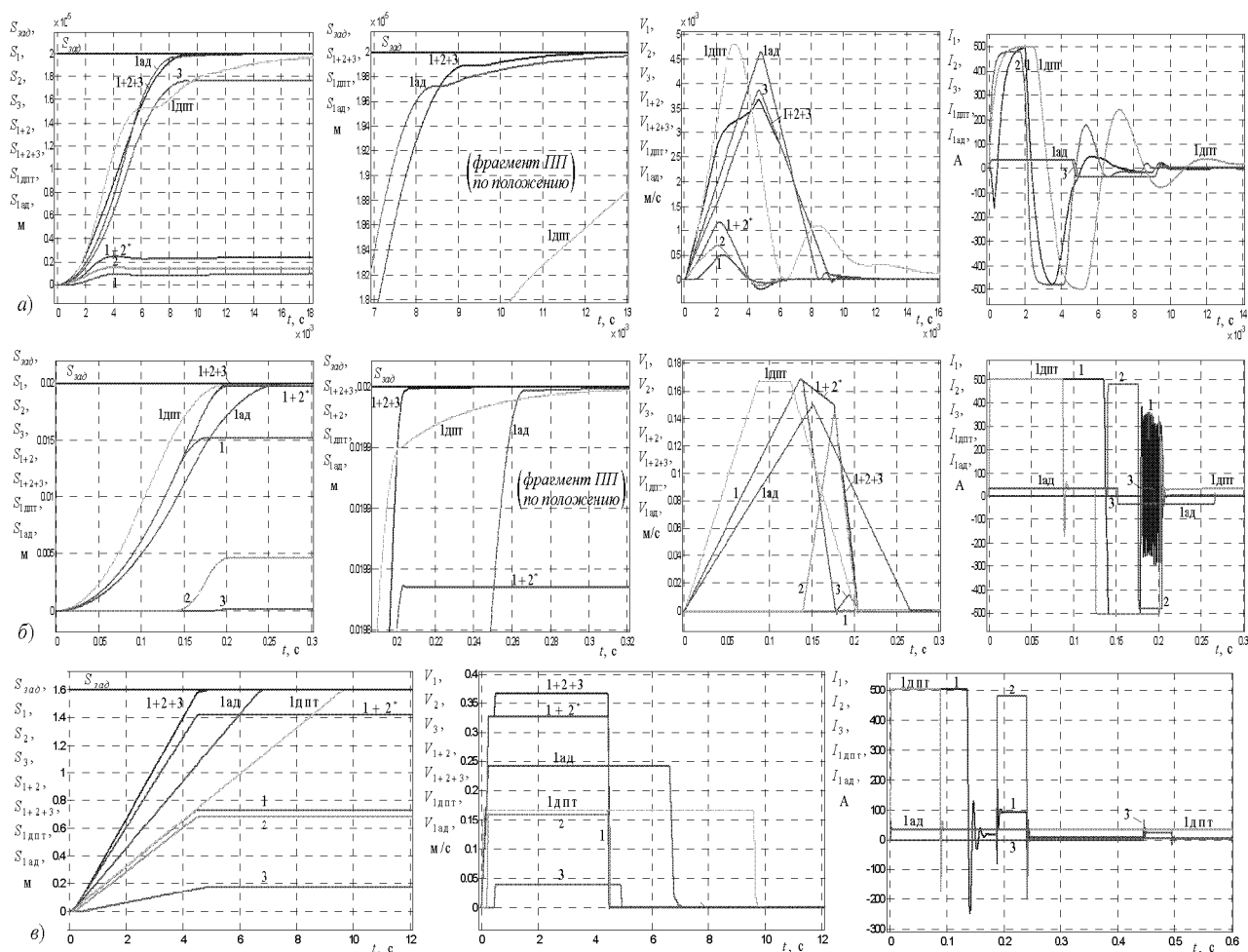


Рисунок 3 – Переходные процессы положения, скорости и тока в трехканальном дифференциально-редукторном компенсированном ЭП и сравниваемых одноканальных (автономных) ЭП подачи типа ШИП-ДПТ и типа ПЧ-АД при отработке заданных перемещений РО: а – $S_C = 0,02$ мм; б – $S_B = 20$ мм; в – $S_B = 1600$ мм

Сравнительное повышение быстродействия двухканального ЭП обеспечивается соответствующим относительным расширением его полосы пропускаемых частот $\omega_{n,1+2}$ в различных диапазонах подач привода (рис. 4 и табл. 2). При этом в зоне малых перемещений РО ($S_{PO} = 0,1$ мкм) имеет место расширение полосы пропускания двухканального ЭП по сравнению с одноканальным ЭП типа ШИП-ДПТ не менее чем в 2,3 раза, но сужение его полосы пропускания по сравнению с одноканальным ЭП типа ПЧ-АД примерно в 1,3 раза. Вместе с тем, в зоне средних перемещений ($0,02 \text{ мм} \leq S_{PO} < 0,1 \text{ мм}$) обеспечивается расширение полосы пропускания двухканального ЭП по сравнению с одноканальными ЭП обоих типов: с ЭП типа ШИП-ДПТ – не менее чем в 1,4 раза и с ЭП типа ПЧ-АД – не менее чем в 1,2 раза. На первом участке зоны больших перемещений ($0,1 \text{ мм} \leq S_{PO} \leq 20 \text{ мм}$) расширения полосы пропускания двухканального ЭП составляют соответственно в 1,38 раза и в 1,27 раза (см. табл. 2).

Время регулирования трехканального ЭП в сравнении с современным одноканальным ЭП типа ШИП-ДПТ уменьшается в разы практически во всем диапазоне подачи РО. Выигрыш в быстродействии трехканального ЭП в сравнении с одноканальным ЭП типа ПЧ-АД растет по мере роста величины подачи РО и в диапазоне перемещений $1600 \text{ мм} < S_{\text{PO}} \leq 3200 \text{ мм}$ достигает значения более чем в 1,49 раза (см. рис. 3, в и табл. 1).

Выводы. 1. Установлено, что в итерационных многоканальных ЭП подачи по сравнению с соответствующими традиционными одноканальными ЭП МП во всем диапазоне перемещений РО может быть достигнут синергетический эффект повышения быстродействия в переходных режимах.

92 ISSN 2079-8024. Вісник НТУ «ХПІ», 2017. 27(1249)

каналов управления многоканального привода в зоне средних и больших подач РО и обусловлено возможностью относительного повышения коэффициентов усиления уточняющих каналов по сравнению с аналогичными одноканальными приводами.

2. Синергетический эффект повышения быстродействия проявляется при сопоставлении возможностей только однотипных одноканальных и многоканальных ЭП подачи. Показано, что в предлагаемом двухканальном ЭП МП с ППР и типовой настройкой каналов может быть обеспечено уменьшение времени регулирования ПП по сравнению с традиционным одноканальным безредукторным ЭП подачи типа ШИП-ДПТ на всем диапазоне подач станка. В предлагаемом трехканальном дифференциально-редукторном ЭП подачи уменьшение времени регулирования ПП может быть достигнуто не только по сравнению с одноканальным безредукторным ЭП подачи типа ШИП-ДПТ, но и по сравнению с перспективным одноканальным асинхронным ЭП типа ПЧ-АД.

3. В количественном выражении в зависимости от типа сравниваемых одноканальных и многоканальных приводов подачи и заданной зоны перемещений РО быстродействие (время регулирования ПП) двухканального ЭП МП с ППР может быть повышено в $1,25 \div 1,93$ раза, а аналогичного по назначению трехканального дифференциально-редукторного ЭП МП – в $1,08 \div 4$ раза. Показатели качества приводов в частотной области соответствуют полученным результатам анализа ПП.

Таблица 1 – Сравнительные показатели качества переходных процессов (ПП) по положению одноканальных (автономных) ЭП типов ШИП-ДПТ и ПЧ-АД и итерационного двух- и трехканального ЭП МП станка

Вариант ЭП	Заданная зона и перемещение РО	Время регулирован ия по уровню 0,1% от $U_{зп}$, с	Относительное уменьшение времени регулирования в сравниваемых приводах, раз		Относительное увеличение длительности ПП в некомпенсированно м многоканальном ЭП, %	
			Одноканальные ЭП типа			Двухканальны й ЭП
			ШИП-ДПТ	ПЧ-АД		
Одноканальный ЭП (типа ШИП- ДПТ)	S_M (0,001 мм)	0,02084	1	–	–	
	S_M (0,02 мм)	0,02994	1	–	–	
	S_C (0,25 мм)	0,04678	1	–	–	
	S_B (20 мм)	0,292	1	–	–	
	S_B (1600 мм)	9,8857	1	–	–	
Одноканальный ЭП (типа ПЧ-АД)	S_M (0,001 мм)	$5,577 \cdot 10^{-3}$	3,737	1	2,313	–
	S_C (0,02 мм)	0,01406	2,129	1	1,703	–
	S_C (0,25 мм)	0,03801	1,231	1	–	–
	S_B (20 мм)	0,2645	1,104	1	–	–
	S_B (1600 мм)	7,4194	1,332	1	–	–
Двухканальный ЭП (с силовыми частями приводов типа ШИП-ДПТ)	S_M (0,001 мм)	0,0129	1,616	0,432	1	0
	S_M (0,02 мм)	0,02395	1,25	0,587	1	17,1
	S_C (0,25 мм)	0,03111	1,504	1,222	1	1,0
	S_B (20 мм)	0,2297	1,271	1,152	1	7,6
	S_B (1600 мм)	5,1173	1,932	1,45	1	0,3
Трехканальный ЭП (с силовой частью точного привода типа ПЧ-АД)	S_M (0,001 мм)	$5,167 \cdot 10^{-3}$	4,034	1,079	2,497	37,3
	S_C (0,02 мм)	0,01255	2,386	1,12	1,908	11,6
	S_B (0,25 мм)	0,03018	1,55	1,259	1,031	33,1
	S_B (20 мм)	0,20364	1,434	1,299	1,128	41,7
	S_B (1600 мм)	4,9771	1,986	1,491	1,028	0

Таблица 2 – Сравнительные показатели качества в частотной области одноканальных (автономных) ЭП типов ШИП-ДПТ и ПЧ-АД и компенсированного итерационного двух- и трехканального ЭП МП станка

Заданная амплитуда перемещений РО, м	Вариант ЭП		Показатели качества				
			полоса воспроизводимых частот (уровень 0,707): $\omega_{n,i}$		расширение полосы пропускания по сравнению с, раз		
					одноканальным ЭП типа		двухканальным ЭП
			рад/с	Гц	ШИП-ДПТ	ПЧ-АД	
$0,1 \cdot 10^{-6}$	Одноканальный ЭП типа	ШИП-ДПТ	283	45	1	–	–
		ПЧ-АД	866	137,8	3,06	1	1,328
	Двухканальный ЭП		652	103,8	2,304	0,753	1
	Трехканальный ЭП		2290	364,5	8,1	2,645	3,512
$1 \cdot 10^{-6}$	Одноканальный ЭП типа	ШИП-ДПТ	181	28,8	1	–	–
		ПЧ-АД	738	117,5	4,08	1	1,787
	Двухканальный ЭП		413	65,7	2,28	0,56	1
	Трехканальный ЭП		1060	168,7	5,858	1,436	2,567
$20 \cdot 10^{-6}$	Одноканальный ЭП типа	ШИП-ДПТ	195	31	1	–	–
		ПЧ-АД	226	36	1,16	1	–
	Двухканальный ЭП		286	45,5	1,47	1,27	1
	Трехканальный ЭП		369	58,7	1,895	1,631	1,29
$20 \cdot 10^{-3}$	Одноканальный ЭП типа	ШИП-ДПТ	6,24	0,99	1	–	–
		ПЧ-АД	6,82	1,085	1,093	1	–
	Двухканальный ЭП		8,49	1,35	1,36	1,24	1
	Трехканальный ЭП		12,2	1,94	1,96	1,788	1,437

Список литературы: 1. Худяев А. А. Механика и электродинамика комбинированного трехканального следящего электропривода подачи для тяжелого станка особо высокой точности / А. А. Худяев // Электромеханические и энергосберегающие системы. Тематический выпуск. – 2012. – Вип. 3/2012 (19). – С. 386-392. 2. Худяев А. А. Высокоточный трехканальный дифференциальный электропривод с подчиненным регулированием для механизма подачи обрабатывающего центра / А. А. Худяев, Д. А. Пшеничников, В. В. Поленок // Сб. научных трудов «Вестник НТУ «ХПИ». Тематический выпуск. – 2013. – № 36 (1009). – С. 202–206. 3. Худяев А. А. Высокоточная квазиитерационная двухканальная электромеханическая система с механическим дифференциалом / А. А. Худяев, Т. Ю. Кунченко // Техническая электродинамика. – 2015. – № 1. – С. 21–28. 4. Худяев А. А. Эффективность итерационного двухканального дифференциального электропривода подачи с различными типами силовой части уточняющего канала / А. А. Худяев, В. В. Поленок // Проблемы энергоресурсосбережения в электротехнических системах. Наука, освіта і практика. Наукове видання. – Кременчук: КрНУ. – 2015. – С. 25–27. 5. Худяев А. А. Исследование компенсированного итерационного трехканального дифференциального электропривода подачи / А. А. Худяев, В. В. Поленок // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. – 36. наук. пр. XIV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів у м. Кременчук 14–15 квітня 2016.— Кременчук: КрНУ, 2016. – С. 31–32. 6. Худяев А. А. Высокоточный многоканальный дифференциально-редукторный электропривод подачи станка / А. А. Худяев, В. В. Поленок // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – Кременчук: КрНУ. – 2016. – № 4/2016 (36). – С. 8–23.

Bibliography (transliterated): 1. Khudiayev, A. A. “Mehnika i elektrodinamika kombinirovannogo trehkanal'nogo slediashego elektroprivoda podachi dlia tiazhelogo stanka osobo visokoj tochnosti.” *Elektromehaniicheskiye i energosberegayushchiye sistemy. Tematicheskij vypusk*, Vol. 3/2012 (19). 2012. 386–392. Print. 2. Khudiayev, A. A., Pshenichnikov, D. A. and Polenok, V. V. “Vysokotochnyj trehkanal'nyj differentsial'nyj jelektroprivod s podchinennym regulirovaniem dlja mehanizma podachi obrabatyvayushchego centra.” *Sb. nauchnyh trudov «Vestnik NTU «HPI». Tematicheskij vypusk»*. No. 36 (1009). 2013. 202–206. Print. 3. Khudiayev, A. A. and Kunchenko, T. Yu. “Vysokotochnaja kvaziiteracionnaja dvuhkanal'naja jelektromehaniicheskaja sistema s mehanicheskim differentsialom.” *Tehnicheskaja jelektrodinamika*. No. 1. 2015. 21–28. Print. 4. Khudiayev, A. A. and Polenok, V. V. “Effektivnost' iteratsionnogo dvuhkanal'nogo differentsial'nogo elektroprivoda podachi s razlichnymi tipami silovoj chasti utochniyushchego kanala”, *Problemy energoresursozbezheniya v electrotechnichnyh sistemax. Nauka, osvita i praktyka. Naukove vydannya*. 2015. 25–27. Print. 5. Khudiayev, A. A. and Polenok, V. V. “Issledovanie kompensirovannogo iteratsionnogo trehkanal'nogo differentsial'nogo elektroprivoda podachi”, *Elektromehaniichni ta energetichni systemy, metody modelyuvannya ta optimizatsii*. 2016. 31–32. Print. 6. Khudiayev, A. A. and Polenok, V. V. “Vysokotochnyj mnogokanal'nyj differentsial'no-reduktornyj elektroprivod podachi stanka”, *Elektromehaniicheskiye i energosberegayushchiye sistemy..* Vol. 4/2016 (36)/ 2016. 8–23. Print.

Поступила 30.05.2017