

ЧАСТОТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРИВОДОМ КРИВОШИПНЫХ ПРЕССОВ

Овсянников В. В.

МГТУ им. Н. Э. Баумана

Кафедра «Технологии обработки давлением»

Научный руководитель: д.т.н. Складчиков Е.Н.

Кривошипные прессы являются основным видом штамповочного оборудования, используемым в автомобильном, сельскохозяйственном машиностроении, приборостроении и других отраслях промышленности [1].

Особенностью конструкции кривошипных прессов является наличие в его приводе маховика, который за счёт расхода своей кинетической энергии покрывает энергетические потребности при выполнении технологической операции. Запас кинетической энергии маховика $A_M = \frac{J_M \omega_M^2}{2}$, где J_M и ω_M – момент инерции и частота вращения маховика соответственно. Однако доля кинетической энергии маховика, используемой для выполнения

операции, равная $\Delta A_M = \frac{J_M}{2} (\omega_{M \max}^2 - \omega_{M \min}^2)$, составляет не более 20-30%. Остающаяся часть энергии маховика, составляющая 70-80%, является “энергетическим балластом”. Причиной этого является то, что маховик кинематически связан с двигателем главного привода, в качестве которого часто используется асинхронный двигатель. Последний по своим свойствам не допускает значительного уменьшения своей частоты вращения, и, соответственно, частоты вращения маховика. Это вынуждает увеличивать момент инерции маховика, его массу и габаритные размеры. Ограничения максимальной окружной скорости маховика вынуждает обеспечивать его требуемый момент инерции за счёт увеличения ширины маховика, что дополнительно увеличивает его массу. Значительная сила тяжести маховика создает трудности обеспечения надлежащей прочности вала, на котором он устанавливается.

Момент инерции маховика и его масса могут быть уменьшены путём увеличения отдаваемой доли его кинетической энергии. Однако простое увеличение доли кинетической энергии, отдаваемой маховиком путём уменьшения минимальной частоты вращения маховика $\omega_{M \min}$ и, соответственно, минимальной частоты вращения двигателя $\omega_{\min} = i \omega_{M \min}$ (i – передаточное число передачи “двигатель-маховик”), приводит к неопустимому увеличению скольжения двигателя и, как следствие, – к его механической, электрической и тепловой перегрузкам, сокращению срока его службы. При этом скольжение двигателя $\Delta \omega = \omega_0 - \omega$, где ω_0 – частота вращения магнитного поля асинхронного двигателя, ω – текущее значение частоты вращения ротора двигателя.

Одним из путей преодоления указанных недостатков является применение для питания двигателя главного привода кривошипных прессов напряжения питания изменяемой частоты f [2]. Как известно, частота вращения магнитного поля двигателя $\omega_0 = \frac{2\pi f}{p}$,

где p – число пар полюсов асинхронного двигателя. Таким образом, изменение частоты питающего напряжения f дает возможность изменять желательным образом частоту вращения магнитного поля двигателя ω_0 в течение цикла работы прессы. Уменьшение частоты вращения магнитного поля двигателя ω_0 вслед за уменьшением частоты вращения ротора двигателя ω позволит практически без ограничений уменьшать $\omega_{\min}$ и $\omega_{M \min}$ и, соответственно, отдаваемую маховиком долю кинетической энергии. При этом скольжение

асинхронного двигателя не превышает допустимого, снижаются токовые и тепловые нагрузки, повышается КПД двигателя, уменьшается потребление электрической энергии.

Простейшим законом изменения частоты питающего напряжения привода кривошипных прессов является закон постоянства скольжения двигателя $\Delta\omega = \omega_0 - \omega = const$. Гибкость изменения частоты напряжения, обеспечиваемая современными частотными преобразователями, позволяет оптимизировать работу привода кривошипных прессов путем выбора иных, более сложных законов изменения частоты питающего напряжения.

Анализ работы кривошипного пресса с частотным управлением приводом и оптимизация его работы выполнены с привлечением программного комплекса (ПК) анализа динамических систем ПА9 [3]. В качестве объекта анализа выбран кривошипный горячештамповочный пресс (КГШП) конструкции завода имени Лихачёва с номинальной силой 25МН. Конструктивная схема пресса показана на рис. 1. Он содержит асинхронный двигатель 1 главного привода, клиноремённую передачу 2, маховик 3, приводной вал 4, зубчатую передачу 5, эксцентриковый вал 6 с эксцентриком 7, смонтированный в подшипниковых опорах 8 и 9, шатун 10, ползун 11, муфту включения 12, тормоз эксцентрикового вала 13. Шатун сочленён с эксцентриком эксцентрикового вала и с ползуном шарнирами 14 и 15, соответственно. Ползун смонтирован в направляющих 16 и имеет дополнительную направляющую 17. Все названные части смонтированы на базовом элементе – станине, включающей стол пресса 18. Деформирование заготовки осуществляется при ходе ползуна вниз инструментом, состоящем из двух частей, одна из которых закреплена к ползуну, другая – к столу.

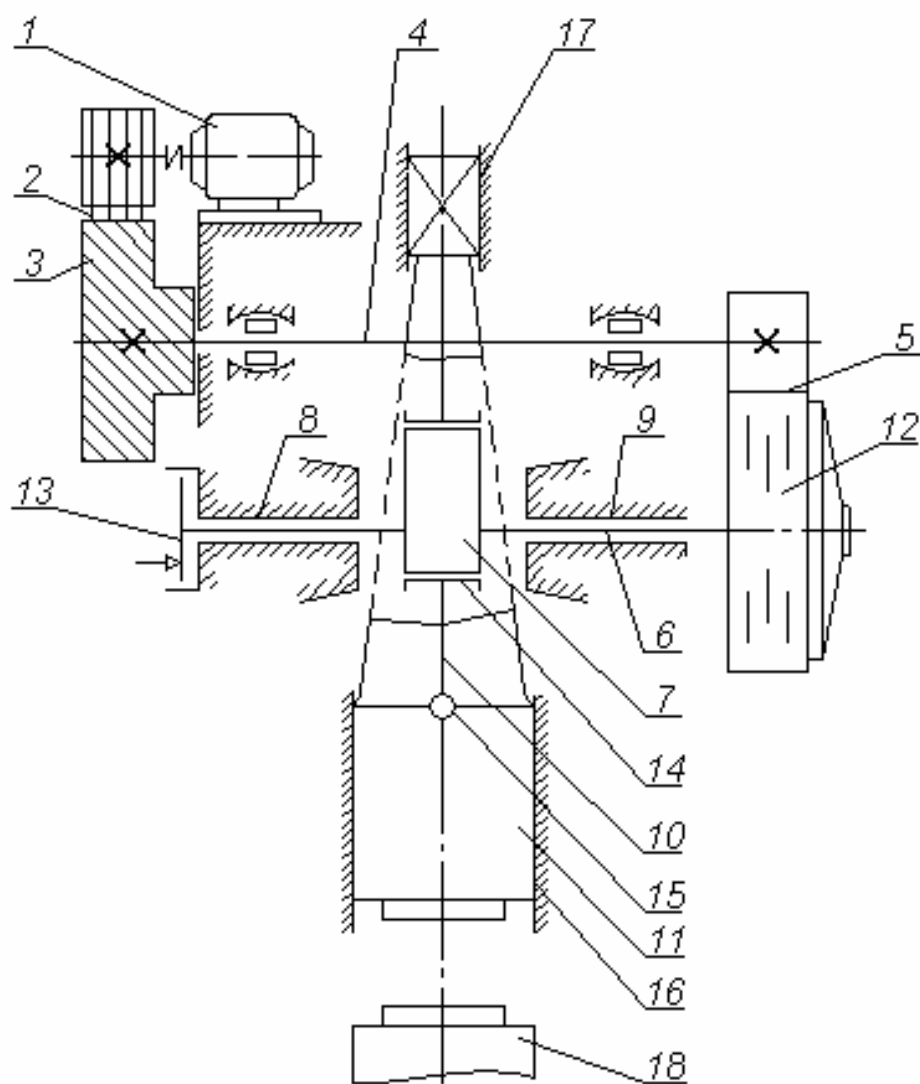


Рис. 1. Конструктивная схема пресса

Математическая модель КГШП 25МН в среде ПК ПА9 показана на рис. 2. В таблице показано поэлементное соответствие пресса и модели.

Результаты моделирования одного цикла работы пресса при постоянстве частоты питающего напряжения ($f=50$ Гц), номинальной мощности двигателя 160 кВт, моменте инерции маховика 4900 кгм^2 (штатный маховик пресса) и массе маховика 8585 кг показаны на рис. 3. Здесь приведены графики перемещения ползуна (м), технологической (деформирующей) силы (Н), частоты вращения ротора двигателя ($\omega \text{ с}^{-1}$), частоты вращения магнитного поля двигателя ($\omega_0 \text{ с}^{-1}$), потребляемой энергии двигателя (Дж), номинального и эквивалентного (греющего) фазных токов двигателя. При этом была выполнена проверка достаточности мощности двигателя и момента инерции маховика для выбранной технологической операции на предмет обеспечения требуемой долговечности двигателя. Проверка выполнена методом эквивалентного тока [4].

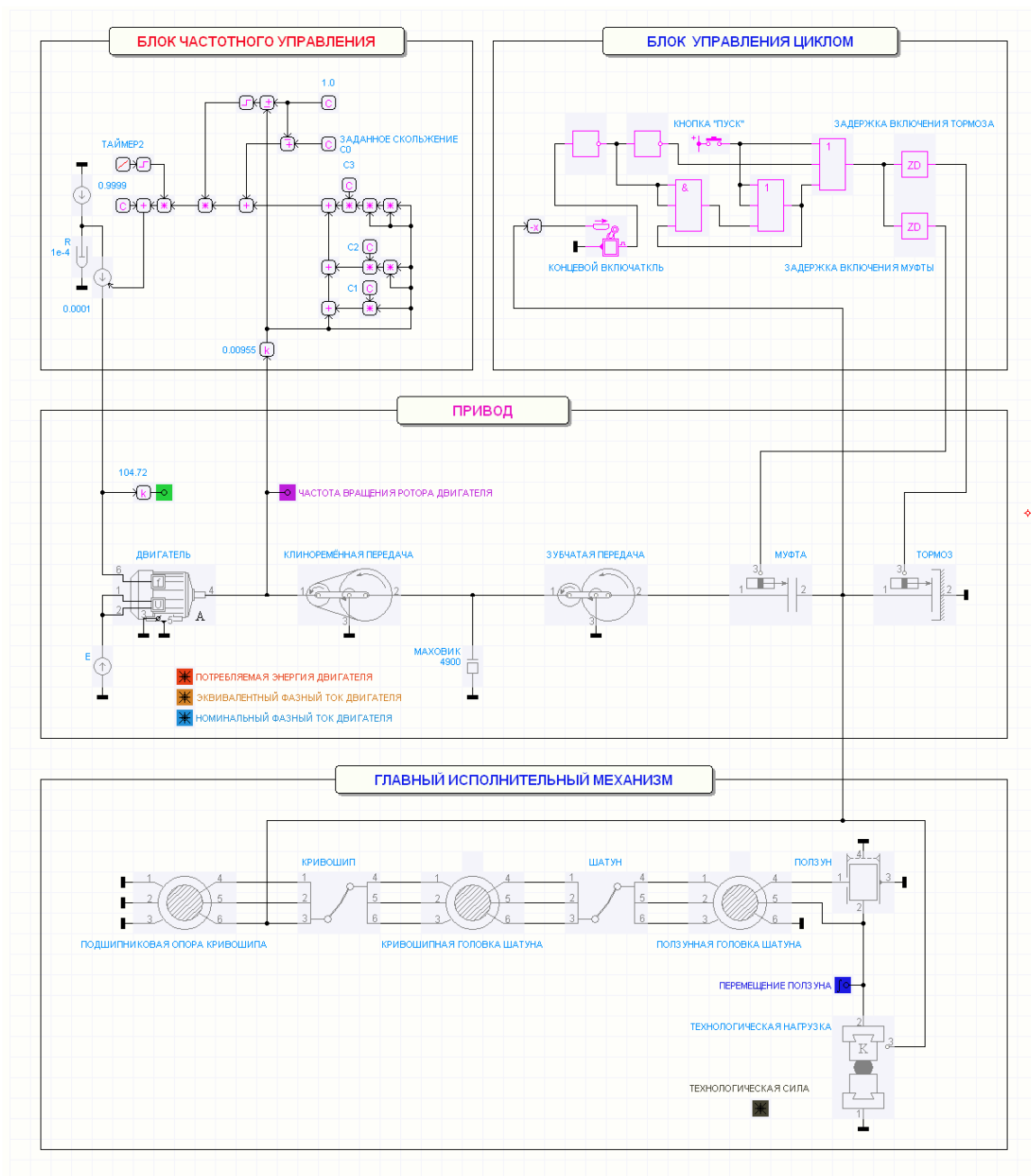


Рис. 2. Математическая модель КГШП 25МН в среде ПК ПА9

Цикл работы пресса содержит включение муфты (141,18с), в результате которого её ведомые части, включая и эксцентриковый вал получают вращение; ход ползуна вниз, состоящий из хода приближения ползуна (141,18-141,68с) и хода деформирования (141,68-141,9с). Затем ползун совершает движение вверх (141,9-142,57с), в конце которого муфта 12 выключается и включается тормоз. Последний останавливает эксцентриковый вал вместе с остальными ведомыми частями муфты, после чего следует технологическая пауза (142,57-151,18с).

На графиках желтым цветом выделено поле, показывающее ширину зоны скольжения двигателя $\omega_0 - \omega$. Затраты энергии на цикл работы пресса составили 1367650Дж. Макс-

симальное значение относительного скольжения двигателя $s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$ составило

14,12%. Допустимое число ходов в минуту по условию допустимого температурного режима двигателя (равенство эквивалентного фазного тока номинальному для конца цикла) составило 2,4 х/мин. Для этих условий маховик имеет полный запас кинетической энергии 26,87 МДж. Доля энергии маховика, затрачиваемой им при выполнении операции составила 7,05 МДж, что составляет 26,2% её запаса.

Номер элемента на схеме	Элемент	Обозначение элемента(ов) на топологии	Имена привлеченных моделей [2]
-	Источник питания	Е	V
1	Двигатель асинхронный	ДВИГАТЕЛЬ	DVA
2	Клиноремённая передача	КЛИНОРЕМЁННАЯ ПЕРЕДАЧА	RP
3	Маховик	МАХОВИК 4900	M
5	Зубчатая передача	ЗУБЧАТАЯ ПЕРЕДАЧА	RDN
6,8,9	Эксцентрик	ПОДШИПНИКОВАЯ ОПОРА КРИВОШИПА	SHARN2
7	Эксцентрик	КРИВОШИП	BALKA2
10	Шатун	ШАТУН	BALKA2
11	Ползун	ПОЛЗУН	NPR
12	Муфта включения	МУФТА	MUFTA
13	Тормоз эксцентрикового вала.	ТОРМОЗ	TORMOZ
14	Кривошипная головка шатуна	КРИВОШИПНАЯ ГОЛОВКА ШАТУНА	SHARN2
15	Ползунная головка шатуна	ПОЛЗУННАЯ ГОЛОВКА ШАТУНА	SHARN2
-	Технологическая сила	ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА	TNGK

Таблица 1. Поэлементное соответствие пресса и модели

Моделирование работы пресса при переменной частоте питающего напряжения выполнялось для случая двигателя с номинальной мощностью двигателя 160 кВт, момента инерции маховика 2500 кгм². Задавался закон изменения частоты питающего напряжения в функции частоты вращения ротора двигателя в виде полинома

$$\alpha = \alpha_0 + \alpha_1 \omega + \alpha_2 \omega^2 + \alpha_3 \omega^3,$$

где $\alpha = \frac{f}{f_0}$ - относительная частота питающего напряжения, причём

$f_0 = 50 \text{ Гц}$ - стандартная промышленная частота,

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ - коэффициенты полинома.

Поиск оптимального закона изменения частоты питающего напряжения выполнялся путем оптимизации с целью получения наименьших затрат энергии на цикл штамповки. Параметрами оптимизации приняты коэффициенты полинома. Оптимизация выполнялась методом Нелдера-Мида. В результате оптимизации получены значения коэффициентов $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ близкие к нулю. Это означает, что режим постоянства скольжения, определяемый коэффициентом α_0 полинома является оптимальным. Этот режим одновременно

является и просто реализуемым. Найдено, что при относительном скольжении $\alpha_0 = 0,02$ допустимое число ходов в минуту по условию допустимого температурного режима двигателя (равенство эквивалентного фазного тока номинальному для конца цикла) составило 7,92 х/мин.

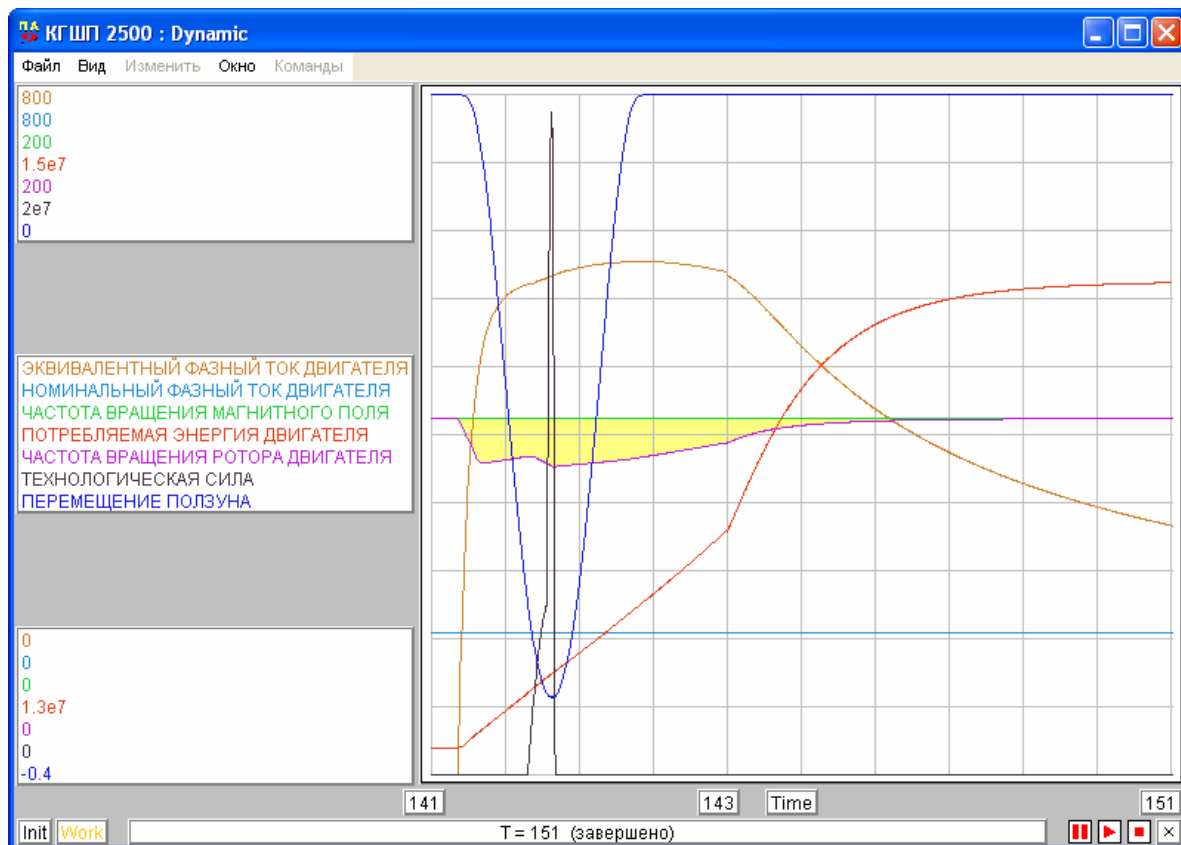


Рис. 3. Результаты моделирования одного цикла работы прессы при постоянстве частоты питающего напряжения

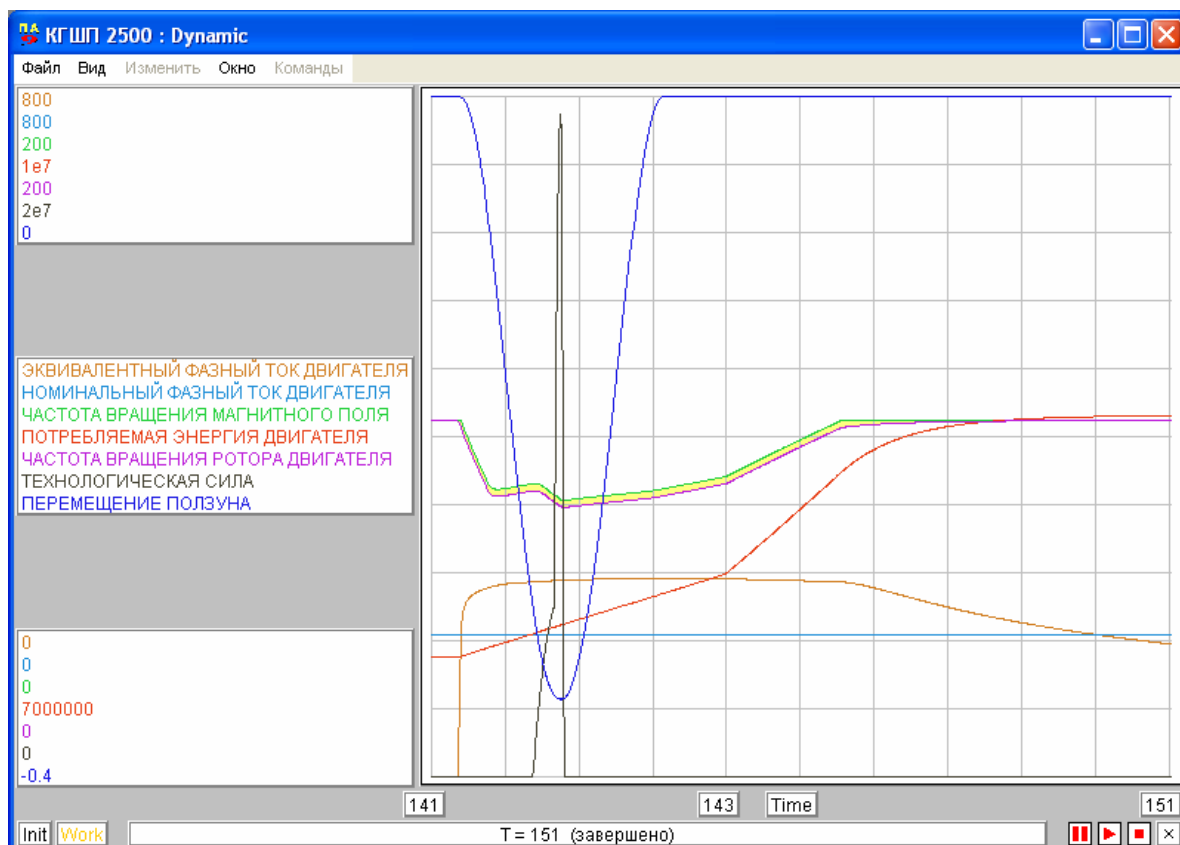


Рис.4. Результаты моделирования одного цикла работы пресса при переменной частоте питающего напряжения в режиме постоянства скольжения

Результаты моделирования одного цикла работы пресса при переменной частоте питающего напряжения в режиме постоянства скольжения при $\alpha_0 = 0,02$ показаны на рис. 4. Как и на рис. 3 желтым цветом выделено поле, показывающее ширину зоны скольжения двигателя $\omega_0 - \omega$, которое значительно уже такового для режима постоянной частоты питающего напряжения. Затраты энергии на цикл работы пресса составили 954175Дж, или 69,77% затрат энергии при постоянной частоте питающего напряжения. Максималь-

ное значение относительного скольжения двигателя $s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$ составило 2,57%. Для

этих условий маховик имел полный запас кинетической энергии 13,71 МДж. Доля энергии маховика, затрачиваемой им при выполнении операции составила 5,86 МДж, что составляет 42,74% её запаса. Это позволило снизить массу маховика с 8585 кг до 5289 кг, т.е. на 38,4%, что существенно повышает запас прочности такого тяжело нагруженного элемента КГШП, как приводной вал.

Вывод: применение частотного управления приводом кривошипного пресса позволяет снизить потребление энергии, повысить производительность и надёжность кривошипного пресса.

Литература

1. Живов Л.И., Овчинников А.Г., Складчиков Е.Н. Кузнечно-штамповочное оборудование. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006.
2. Сандлер А.С., Сарбатов Р.С. Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями. М., Энергия, 1974.
3. Применение программного комплекса анализа динамических систем ПА9 для моделирования работы кузнечно-штамповочного оборудования. М., Каф. МТ6 МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005.
4. Электрооборудование кузнечно–прессовых машин: Справочник/ В.Е.Стоколов, Г.С.Усышкин, В.М.Степанов и др. –М.: Машиностроение, 1981.