

УДК 621.73.06

Оптимизация пуска привода кривошипных прессов

Складчиков Е. Н.^{1,*}

[*ens_0@mail.ru](mailto:ens_0@mail.ru)

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Кривошипные прессы снабжаются маховиком, который является основным источником энергии для выполнения операции штамповки. Ускорение маховика при пуске прессы происходит при больших токовых нагрузках двигателя главного привода прессы. Маховик имеет значительный момент инерции. Поэтому ускорение маховика при пуске прессы отличается большой продолжительностью. Это определяет большие затраты энергии и нагрев двигателя. Для уменьшения затрат энергии и нагрева двигателя прессы при пуске применяется трёхступенчатый пуск двигателя. В статье рассматривается вопрос обоснования выбора параметров трёхступенчатого пуска асинхронного двигателя с фазным ротором тяжёлых кривошипных прессов. С этой целью выполняется оптимизация сопротивлений и продолжительности пуска на каждой его ступени. Минимизировались время пуска, эквивалентный фазный ток двигателя и затраты энергии.

Ключевые слова: кривошипный пресс, пуск двигателя, добавочное сопротивление, оптимизация, эквивалентный ток, продолжительность ступени пуска, затраты энергии

Главный привод кривошипных прессов в большинстве случаев содержит двигатель, ремённую передачу и маховик (рис.1). Маховик обеспечивает необходимой энергией процесс деформирования заготовки, который по времени составляет относительно малую часть цикла работы прессы. При этом маховик отдаёт часть запасённой кинетической энергии [1]. В качестве двигателя часто применяется асинхронные двигатели ввиду их конструктивной простоты, надёжности и невысокой стоимости.

Перед началом штамповки выполняется пуск привода, в котором осуществляется разгон маховика и сообщение ему необходимого запаса кинетической энергии. Для тяжёлых и средних прессов время разгона маховика может составлять несколько минут. У асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором пусковой ток может в 5-7 раз превосходить ток номинального режима. В этом случае тепловыделение в двигателе возрастает, соответственно в 25-49 раз по сравнению с номинальным режимом. Это исключает возможность прямого пуска двигателя с короткозамкнутым ротором, поскольку в этом случае двигатель при разгоне маховика выходит из строя из-за перегрева. Пусковой момент асинхронного двигателя имеет пониженное значение [1], что увеличивает продолжительность разгона привода в режиме повышенного

тепловыделения. Кроме того, асинхронный двигатель имеет максимум КПД в области номинального режима и существенно меньшее его значение в иных режимах, в том числе и в пусковом. Это приводит к существенным бесполезным затратам энергии при разгоне привода. Ввиду сказанного в качестве двигателя главного привода тяжёлых и средних прессов применяют асинхронные двигатели с фазным ротором, в электрическую цепь которого подключаются добавочные сопротивления. При этом появляется возможность осуществления ступенчатого пуска, когда на каждой ступени пуска в течение определённого времени в цепь фазного ротора включается постоянное по величине добавочное сопротивление. Это приводит к существенному уменьшению пусковых токов и перегрева двигателя, к повышению пускового момента [1,2] и уменьшению времени разгона маховика.

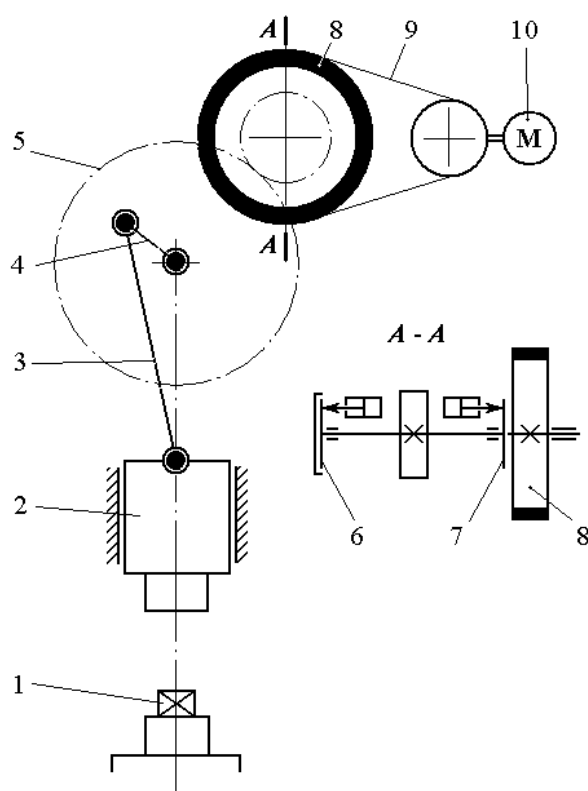


Рис. 1. Кинематическая схема кривошипного пресса

1 - заготовка, 2 - ползун, 3 - шатун, 4 - кривошип,
5 - зубчатая передача, 6 - тормоз, 7 - муфта включения,
8 - маховик, 9 - ременная передача, 10 - двигатель

Чаще всего применяется трёхступенчатый пуск привода. Однако величины добавочных сопротивлений на каждой ступени пуска и продолжительность каждой ступени пуска выбираются без достаточного обоснования [2]. Процесс пуска привода кривошипного пресса может быть оптимизирован надлежащим выбором добавочных сопротивлений и продолжительности разгона маховика на каждой ступени пуска.

Оптимизация может быть выполнена по нагреву двигателя при пуске, затратам энергии при пуске и общему времени пуска. В качестве примера рассмотрена оптимизация пуска привода кривошипного горячештамповочного пресса конструкции ЗИЛ с номинальной силой 25МН, на котором в качестве двигателя главного привода установлен асинхронный двигатель с фазным ротором 4А355S6У3 мощностью 160 КВт и частотой вращения 960 об/мин., маховик с моментом инерции $2000 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ и ремённая передача $i=3,05$.

Для выполнения оптимизации пуска привода кривошипного пресса в среде программного комплекса анализа динамических систем ПА9 (ПК ПА9) [3] создана математическая модель привода названного пресса, которая приведена на рис. 2. Математическая модель разработана для случая трёхступенчатого пуска. Для этого в модель привода пресса включены три модели асинхронного двигателя 4А355S6У3 – DV1, DV2, DV3, каждая из которых “включается” на одной из ступеней разгона, но в совокупности они представляют собой один двигатель. Величина добавочного сопротивления на каждой ступени разгона вводится как параметр соответствующей модели двигателя. Напряжение питания каждой модели двигателя задаётся параметрами элементов UN1-UN3, продолжительность подачи напряжения (время разгона на каждой из ступеней) – параметрами элементов T1-T3. Вывод на графики процесса разгона осуществляется: потребляемой энергии – индикаторами AVH1-AVN3, частоты вращения двигателя – индикатором WD, момента двигателя – индикаторами MD1-MD3, подачи напряжения на двигатель на различных ступенях пуска - индикаторами UN1-UN3. Нагрев двигателя оценивался величиной эквивалентного (греющего) тока [4]. Она определялась с помощью индикаторов EQVTOK1-EQVTOK3. Операторы Init, Dynamic, Out, Define, Opti осуществляют расчёт процесса и оптимизацию разгона. Разгон считался окончанным по достижении двигателем своей номинальной частоты вращения – 960 об/мин.

Оптимизация выполнялась методом Нелдера-Мида (деформируемого многогранника) [5]. Начальные значения добавочных сопротивлений приняты нулевыми, что соответствует разгону маховика в условиях прямого пуска; продолжительностей разгона на первой и второй ступенях - равными соответственно 1,2 и 0,8 с. Графики процесса оптимизированного по эквивалентному току пуска привода пресса показаны на рис. 3. Результаты оптимизации по нагреву двигателя при пуске, затратам энергии при пуске и общему времени пуска приведены в таблице. Нагрев двигателя оценивался через эквивалентный (греющий) ток [4].

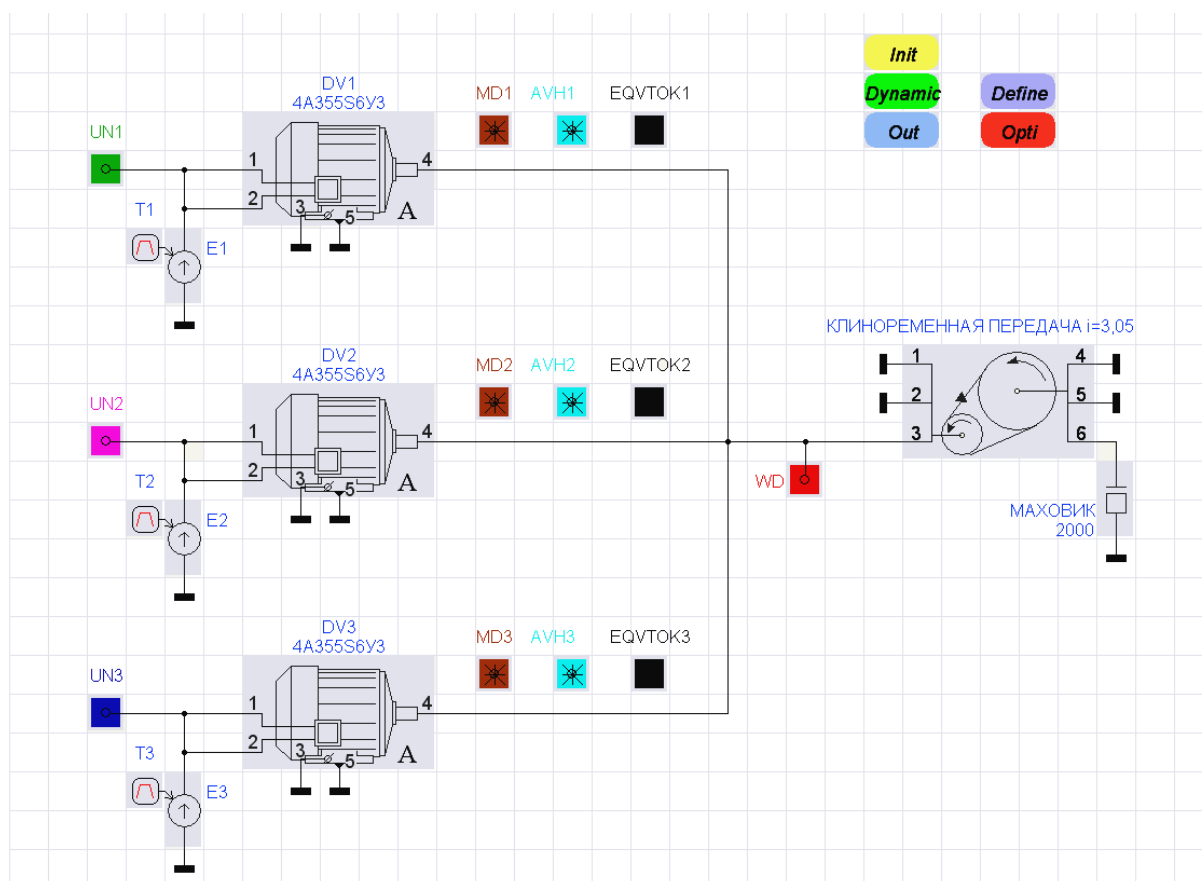


Рис. 2. Математическая модель привода прессы 25 МН

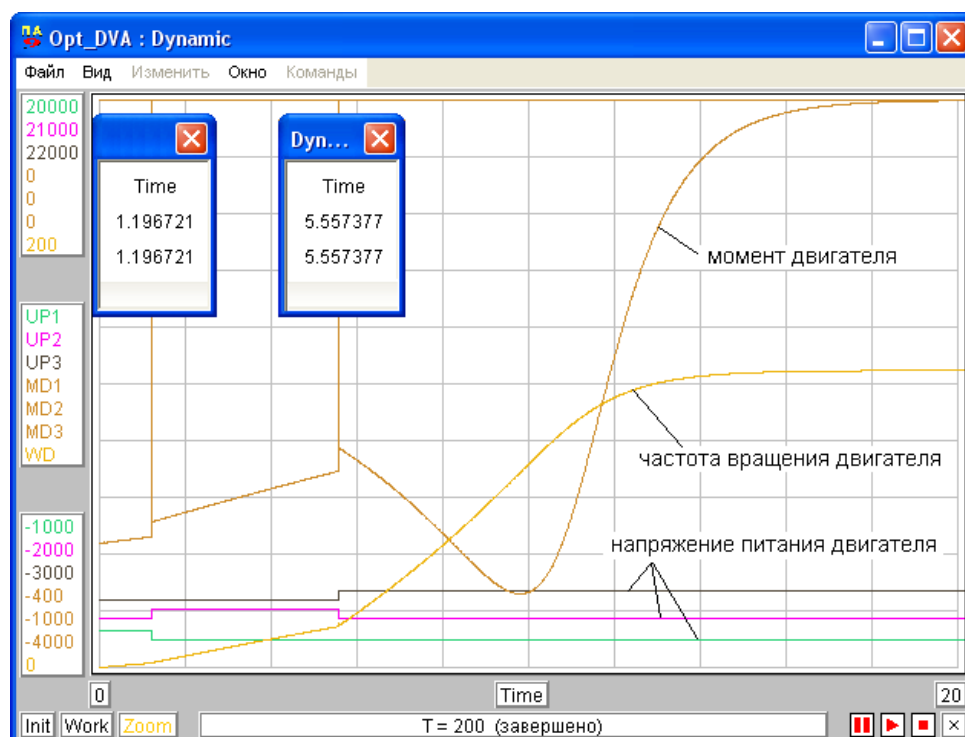


Рис. 3. Графики процесса пуска привода прессы

Таблица

Оптимизация	Добавочное сопротивление, Ом			Время разгона маховика, с			Общее время разгона маховика, с	Затраты энергии, КДж	Эквивалентный ток, А (нагрев двигателя)
	1-я ступ.	2-я ступ.	3-я ступ.	1-я ступ.	2-я ступ.	3-я ступ.			
До оптимизации	0	0	0	1,2	0,8	25,30	27,30	4405,93	60.34
По времени разгона маховика	1.11	0.017	0	2.77	8.47	0	11,24	2722,60	14.01
По затратам энергии	0.074	0.237	0	17.4	0.510	0	17.96	2538,40	53.67
По эквивалентному току	0,996	0,403	0,012	1,19	4,37	7,38	12,94	2754,01	10.47

Полученные результаты показывают, что оптимизация пуска привода по времени разгона маховика позволяет сократить время разгона с 27,3с до 11,24с с одновременным уменьшением затрат энергии с 4405,93 КДж до 2722,60 КДж и эквивалентного (греющего) тока с 60.34 до 14.01 А.

Оптимизация пуска привода по затратам энергии позволяет уменьшить затраты энергии до 2538,40 КДж, время разгона маховика – до 17.96 с, эквивалентный ток – до 53.67 А.

Оптимизация пуска привода по эквивалентному току позволяет уменьшить эквивалентный ток – до 10.47 А, уменьшить затраты энергии до 2754,01 КДж, время разгона маховика – до 12,94 с.

Выводы

1. Оптимизация пуска привода пресса позволяет без дополнительных капитальных затрат существенно улучшить показатели пуска в части продолжительности пуска, затрат энергии и нагрева двигателя.

2. Предпочтительным является пуск привода пресса в режимах оптимального времени разгона маховика и оптимального эквивалентного тока, так как они близки по полученным результатам в части экономии энергии, уменьшения нагрева двигателя и сокращения времени пуска. При этом время пуска сокращается более, чем в два раза, затраты энергии - на 38% и 37%, эквивалентный ток – в 4,3 и 5,7 раза, соответственно.

Список литературы

1. Харизоменов И.В. Электрооборудование кузнечно-штамповочных машин. М.: Высшая школа, 1970. 188 с.
2. Церна И.А., Пасхалов А.С., Гунин А.В. Электрооборудование машин кузнечно-прессового производства: учеб. пособие. Ростов-на-Дону: ООО «Мини Тайп», 2011. 128 с.

3. Живов Л.И., Овчинников А.Г., Складчиков Е.Н. Кузнечно-штамповочное оборудование: учебник для вузов / Под ред. Л.И. Живова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 560 с.
4. Стоколов В.Е., Усышкин Г.С., Степанов В.М. и др. Электрооборудование кузнечно-прессовых машин: Справочник. М.: Машиностроение, 1981. 304 с.
5. Кузьмик П.К., Маничев В.Б. Системы автоматизированного проектирования. В 9 кн. Кн. 5. Автоматизация функционального проектирования: учеб. пособие для вузов / Под ред. И.П. Норенкова. М.: Высшая школа, 1986. 144 с.

.

Optimising Start-Up of a Crankshaft Press Drive

E.N. Skladchikov^{1,*}

* ens_0@mail.ru

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: the crankshaft press, start-up of the engine, additional resistance, the optimization, an equivalent current, duration of a step of start-up, an expense of energy

The purpose of research is to decrease energy consumption as well as acceleration and heat time of the engine of main drive crankshaft press when starting it up. Modern crankshaft press designs include a flywheel connected to the engine by a belt drive. The flywheel performing a process operation spends the reserved kinetic energy. By virtue thereof it should possess the significant moment of inertia. It defines duration of acceleration process. High starting currents of engines lead to their vigorous heating and energy consumption at acceleration.

The literature describes the way for eliminating these shortcomings, which is confined to the start-up of the asynchronous engine with a phase rotor when the circuit of each rotor phase includes an additional stepped resistance. However, there are no proved recommendations to specified resistance values and duration of engine acceleration at each step.

Research used mathematical modeling and process optimization of three-stage acceleration of engine possessing a flywheel with the following optimization criteria: energy consumption at start-up, an equivalent (heating) current of engine, acceleration time. Values of additional resistance and start-up time at each step are chosen to be parameters of optimization.

Obtained results show, that optimization of drive start-up allows us to reduce time of acceleration from 27.3s up to 11.24s, energy consumption from 4405930 Joule up to 2538400 Joule, and an equivalent (heating) current from 60.34 up to 14.01 A.

As a result of research it is found, that a preferable start-up is the press drive start-up in modes with optimum time of flywheel acceleration and an optimum equivalent current, as the most efficient according to all optimization criteria.

References

1. Kharizomenov I.V. *Elektrooborudovanie kuznechno-shtampovochnykh mashin* [Electrical equipment of forging and stamping machines]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1970. 188 p. (in Russian).

2. Tserna I.A., Paskhalov A.S., Gunin A.V. *Elektrooborudovanie mashin kuznechno-pressovogo proizvodstva* [Electrical equipment of press-forging manufacturing]. Rostov-on-Don, “Mini Tayp” Publ., 2011. 128 p. (in Russian).
3. Zhivov L.I., Ovchinnikov A.G., Skladchikov E.N. *Kuznechno-shtampovochnoe oborudovanie* [Forging and stamping equipment]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2006. 560 p. (in Russian).
4. Stokolov V.E., Usyshkin G.S., Stepanov V.M., et al. *Elektrooborudovanie kuznechno-pressovykh mashin: Spravochnik* [Electrical equipment of forging and stamping machines. Handbook]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1981. 304 p. (in Russian).
5. Kuz'mik P.K., Manichev V.B.; Norenkov I.P., ed. *Sistemy avtomatizirovannogo proektirovaniya. V 9 kn. Kn. 5. Avtomatizatsiya funktsional'nogo proektirovaniya* [Computer-Aided Design Systems. In 9 books. Book 5. Automation of functional design]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1986. 144 p. (in Russian).