РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ В УСТАНОВКЕ МЕЖКЛЕТЕВОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА

К. В. ЛИЦИН, канд. техн. наук, доцент, k.litsin@rambler.ru;

Т. В. КОВАЛЬЧУК, студент

(Новотроицкий филиал ФГАОУ ВО "Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Россия, Оренбургская обл., г. Новотроицк)

Аннотация. Модернизация электропривода сталкивателя установки межклетевого охлаждения листового проката является актуальным направлением повышения эффективности прокатного производства. Управление существующим электроприводом осуществляется системой, включающей асинхронный двигатель. Рассмотрены проблемы автоматизации установки межклетевого охлаждения листового проката листопрокатного цеха АО "Уральская сталь". Предложена модернизация имеющейся системы путем внедрения частотного преобразователя с векторным управлением. Для ограничения движения сталкивателя предлагается использовать индуктивные датчики и контроллер SIMATIC S7-300. Рассмотрен алгоритм работы сталкивателя с использованием индуктивных датчиков. Реализация разработанного алгоритма работы сталкивателя реализована на базе контроллера SIMATIC S7-300. Проведен расчет и построение нагрузочной диаграммы и тахограммы электропривода сталкивателя за цикл его работы. С учетом номинальных данных выбранного двигателя сталкивателя и требований к электрооборудованию выбран преобразователь частоты с векторным управлением. Обосновано внедрение системы "преобразователь частоты – асинхронный двигатель" с векторным управлением. Векторное управление позволяет обеспечить заданный темп разгона двигателя, его полную защиту от перегрузок, что значительно увеличивает срок службы системы электропривода в целом. Применение частотно-регулируемого привода сталкивателя в совокупности с контроллером SIMATIC S7-300 позволит автоматизировать процесс работы сталкивателя. Внедрение разработанной автоматической системы работы электропривода сталкивателя возможно и на других металлургических предприятиях. Срок окупаемости предлагаемых в рамках проекта решений составит 9 месяцев.

Ключевые слова: листопрокатное производство, автоматизация, установка межклетевого охлаждения, сталкиватель, преобразователь частоты, асинхронный двигатель, индуктивные датчики, контроллер.

Ссылка для цитирования. Лицин К.В., Ковальчук Т.В. Разработка системы электропривода с векторным управлением в установке межклетевого охлаждения листового проката // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2019. Т. 75. № 3. С. 350–354.

Doi: 10.32339/0135-5910-2019-3-350-354

DEVELOPMENT OF ELECTRIC DRIVE SYSTEM WITH VECTOR CONTROL IN THE FACILITY OF INTER-STAND COOLING OF SHEET ROLLED PRODUCT

K. V. LITSIN, PhD (Tech), Prof. Ass., k.litsin@rambler.ru;

T. V. KOVAL'CHUK, student

(Novotroitsk branch of FGAOU VO "National Research Technological University "MISiS", Russia, Orenburg rgn., Novotroitsk)

Abstract. Modernization of the pusher electric drive of inter-stand cooling facility of sheet rolled product is an actual way to increase efficiency of rolling production. The control by the existing electric drive is accomplished by a system, comprising an asynchronous motor. Problems of automation of the facility of inter-stand cooling of sheet rolled product of JSC "Ural steel" sheet-rolling shop considered. Modernization of existing system by implementation of frequency converter with vector control proposed. To restrict the pusher movement it proposed to use induction sensors and controller SIMATIC S7-300. Algorithm of the pusher operation with induction sensors application considered. The elaborated algorithm of the pusher operation realized on the base of SIMATIC S7-300 controller. Calculation and building of load diagram and the pusher drive tachometric diagram accomplished for one cycle of its operation. Taking into account nominal data of the pusher selected motor and requirements to electric equipment, a frequency converter with vector control was selected. Implementation of the system "frequency converter – asynchronous motor" with vector control justified. The vector control enables to provide a preset pace of the motor acceleration, its complete protection against over-loading that increases considerably service life of the electric drive system as a whole. Application of frequency controlled pusher drive together with SIMATIC S7-300 controller will enable to automatize the process of the pusher operation.

Implementation of the developed automation system of the pusher electric drive operation is possible also at other steel-works. The payback period of the solutions proposed within the frame of the project will be 9 months.

Key words: sheet-rolling production, automation, inter-stand cooling facility, pusher, frequency convertor, asynchronous motor, induction sensors, controller.

For citation. Litsin K.V., Koval'chuk T.V. Development of electric drive system with vector control in the facility of inter-stand cooling of sheet rolled product. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2019, vol. 75, no. 3, pp. 350–354. (In Russ.).

Doi: 10.32339/0135-5910-2019-3-350-354

В настоящее время частотно-регулируемые электроприводы переменного тока не уступают электроприводам постоянного тока практически по всем основным техническим и экономическим показателям, а по некоторым показателям статических и динамических характеристик и превосходят их. Это стало возможным благодаря созданию мощных запираемых силовых полупроводниковых приборов с высокими динамическими параметрами и быстродействующих микропроцессорных средств управления [1–5]. Следовательно, актуальным направлением повышения эффективности прокатного производства АО “Уральская сталь” является модернизация существующего электропривода сталкивателя установки межклетевого охлаждения (УМО) вследствие повышающихся требований к энергосбережению, а также обеспечение автоматизации всего процесса.

УМО листов предназначена для ускоренного охлаждения подкатов во время междеформационной паузы до требуемой температуры начала чистовой прокатки в клети кварто стана 2800 АО “Уральская сталь” [6].

УМО устанавливается в производственном здании и рассчитана на работу в следующих условиях:

- температура воздуха — от –35 до +60 °С;
- относительная влажность воздуха — от 60 до 80 %.

Оборудование УМО используется для работы при параметрах охлаждаемых подкатов, приведенных в табл. 1. Основное оборудование имеет характеристики, представленные в табл. 2.

ТАБЛИЦА 1. ПАРАМЕТРЫ ОХЛАЖДАЕМЫХ ПОДКАТОВ

TABLE 1. PARAMETERS OF SEMI-PRODUCT

Параметр	Значение
Толщина, мм	От 50 до 90
Ширина, мм	От 1500 до 2750
Длина, мм	От 3000 до 8000
Максимальная масса подката, т	6,7
Температура подката, °С:	
на входе	От 950 до 1050
на выходе	От 700 до 840

ТАБЛИЦА 2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ

TABLE 2. CHARACTERISTICS OF THE EQUIPMENT

Параметр	Значение
Горизонтальное усилие толкателей, т	4
Минимальный ход, мм	3700
Максимальный ход, мм	4400
Число толкателей	2
Число валов с дисками на стеллаже охлаждения	7
Диаметр диска, мм	700
Шаг расположения валов с дисками, мм	500

К элементам основного оборудования УМО относятся левый и правый сталкиватели, стеллаж охлаждения. Сталкиватели предназначены для перемещения подката с рольганга на стеллаж охлаждения и обратно при достижении требуемой температуры начала чистовой прокатки.

На рис. 1 изображена кинематическая схема сталкивателя УМО листа с учетом ее работы в автоматическом режиме. Двигатель 5 через редуктор 7 вращает ведущие колеса 4. Толкатель 1 опирается на ролики 2 и перемещается за счет зубчатых реек 3, приводимых в поступательное движение ведущими колесами 4.

Рис. 1. Кинематическая схема сталкивателя слябов:
1 — толкатель; 2 — опорные ролики; 3 — зубчатая рейка;
4 — ведущее колесо; 5 — двигатель; 6 — тормоз;
7 — редуктор; 8 — сляб

Fig. 1. Cinematic diagram of slab pusher:
1 — pusher; 2 — supporting rollers; 3 — toothed bar;
4 — driving wheel; 5 — motor; 6 — brake; 7 — gear box;
8 — slab

Сталкиватель включается в работу при подходе очередного сляба δ и выравнивает его для дальнейшей прокатки, после чего возвращается в исходное положение.

В настоящее время система реализуется посредством управления асинхронным двигателем. В данной работе предлагается модернизация имеющейся системы за счет внедрения частотного преобразователя с векторным управлением. Преимущества преобразователей частоты (ПЧ) изложены в работах [7–9]. Кроме того, условия ограничения движения сталкивателя предлагается осуществить на базе индуктивных датчиков и контроллера SIMATIC S7-300, используемого на данном участке листопрокатного цеха АО «Уральская сталь».

Упрощенная функциональная схема системы электропривода сталкивателя представлена на рис. 2.

Рис. 2. Функциональная схема сталкивателя:
 СУ — система управления; ОУ — объект управления;
 Д1, Д2, Д3 — датчики

Fig. 2. Functional diagram of the pusher:
 СУ — control system; ОУ — controlled subject;
 Д1, Д2, Д3 — sensors

Алгоритм работы предлагаемой к внедрению схемы следующий. По причине неизвестного заранее количества использований сталкивателя в начальном условии задаем цикл с многократным числом повторений $i = 1 \dots n$. Далее проверяется работа 1-го датчика. Если датчик сработал, то сталкиватель выдвигается, если нет — возвращаемся в начальное условие. Затем проверяется работа 2-го датчика. Датчик сработал —

скорость сталкивателя нормализована. После проверяется работа 3-го датчика, отвечающего за конечную остановку сталкивателя. Все датчики относятся к индуктивному типу [10]. В конце проверяется условие $i = n$. Если количество использований сталкивателя достигло значения n , то работа установки завершается, если нет, то цикл повторяется.

На рис. 3 представлена тахограмма на основании расчетов, приведенных в работе [11], на рис. 4 — нагрузочная диаграмма.

Рис. 3. Тахограмма

Fig. 3. Tachometric diagram

Рис. 4. Нагрузочная диаграмма

Fig. 4. Load diagram

Мощность необходимого электродвигателя составит 45 кВт. На основании этого выбирается электродвигатель АИР 200L4, технические данные которого представлены в табл. 3.

ТАБЛИЦА 3. ПАРАМЕТРЫ ВЫБРАННОГО ДВИГАТЕЛЯ

TABLE 3. PARAMETERS OF THE SELECTED MOTOR

Двигатель	Р, кВт	Об/мин	I при 380 В	КПД, %	Коэффициент мощности	I _n /I _n	m, кг
АИР 200L4	45	1500	83,1	92,5	0,88	7,5	200

При выборе ПЧ руководствовались тем, что его мощность и номинальный ток должны превосходить ток и мощность двигателя на 10–15 %:

$$1) P_{ПЧ} \geq 1,15 P_{дв}; P_{ПЧ} \geq 51,75 \text{ кВт};$$

$$2) U_{ПЧ} = U_{дв} = 380 \text{ В};$$

$$3) I_{ПЧном} \geq 1,15 I_{двном}; I_{двном} = 95,57 \text{ А}.$$

Технические данные выбранного преобразователя представлены в табл. 4. Кроме того, на участке УМО уже используется ПЧ фирмы Shneider Electric, что объясняет выбор фирмы.

ТАБЛИЦА 4. ПАРАМЕТРЫ ВЫБРАННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

TABLE 4. PARAMETERS OF THE SELECTED FREQUENCY CONVERTOR

Название	Номер по каталогу	Напряжение, В	Мощность, кВт	$I_{ном}$, А	Тип нагрузки	Степень защиты
Altivar ATV71	ATV71WD55N4	380	55	116	Насос вентиллятор	IP54

ПЧ частоты Altivar ATV71 может уменьшить эксплуатационные расходы путем оптимизации потребления энергии, значительно повышая комфортность [12]. Схема подключения двигателя к ПЧ представлена на рис. 5.

Различные встроенные функции позволяют адаптировать преобразователь для использования в электрических установках, сложных управляющих системах и системах диспетчеризации инженерного оборудования здания. При разработке преобразователя учитывалась необходимость электромагнитной совместимости и уменьшения гармонических составляющих тока [13].

В заключение необходимо отметить, что предложенный метод автоматизации применим не только в АО “Уральская сталь”, но и для других металлургических предприятий. В статье предложен алгоритм работы сталкователя УМО. Реализация данного алгоритма работы возможна на базе контроллера SIMATIC S7-300.

В соответствии с предлагаемой автоматизацией затраты составляют 555229 руб., прибыль — 457625 руб/год, срок окупаемости предлагаемых в рамках проекта решений составит 9 месяцев.

Применение частотно-регулируемого привода сталкователя позволит автоматизировать процесс выдачи проката. При векторном управлении достигается ограничение ускорения и рывка, полная защита от перегрузок электродвигателя, преобразователя и механизма, что значительно увеличивает их срок службы.

Рис. 5. Схема подключения электропривода:

- (1) — сетевой дроссель по выбору;
- (2) — контакты реле неисправности для дистанционной сигнализации состояния ПЧ;
- (3) — подключение общей точки дискретных входов зависит от положения переключателя SW1;
- (4) — аналоговый вход, конфигурируемый по току (0–20 мА) или по напряжению (0–10 В)

Fig. 5. Diagram of electric drive connection:

- (1) — net throttle by choice;
- (2) — contacts of a fault relay for remote signaling of frequency convertor state;
- (3) — connection of general point of discrete inputs depends on switch SW1 state;
- (4) — analogue input configured by current (0–20 mA) or by voltage (0–10 V)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / ГОУ ВПО “Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина”. — Иваново, 2010. — 298 с.
2. Лукин А.Н. Системы автоматизированного электропривода с векторным управлением асинхронных двигателей. — Магнитогорск: МГТУ, 2012. — 50 с.
3. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. — М.: Академия, 2010. — 272 с.
4. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Поляков В.Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод / Под ред. И.Я. Браславского. — М.: Академия, 2004. — 256 с.
5. Ключев В.И. Теория электропривода. — М.: Энергоатомиздат, 1998. — 704 с.

6. Ковальчук Т.В., Лицин К.В. Модернизация системы электропривода сталкивателя установки межклетового охлаждения ЛПЦ-1 АО “Уральская сталь” // Актуальные проблемы в машиностроении: научно-технический производственный журнал. Материалы Пятой междунар. научно-практич. конф. — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2018. Т. 5. № 1. С. 60–65.
7. Baskov S.N., Baskova T.V., Litsin K.V. Investigation of harmonic composition of non-sinusoidal signal of synchronous motor at vector-pulse start // 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM 2017). — Chelyabinsk, Russia, 16–19 May 2017. P. 1177–1180.
8. Терехов В.М., Осипов В.И. Системы управления электроприводов. — М.: Академия, 2011. — 304 с.
9. Вольдек А.И. Электрические машины. — М.: Энергия, 1998. — 311 с.
10. Лицин К.В., Ковальчук Т.В., Макаров Я.В. Автоматизация установки межклетового охлаждения листового проката в ЛПЦ-1 АО “Уральская сталь” // Metallurgy: технологии, инновации, качество: труды XX Междунар. научно-практич. конф.: в 2-х ч. Ч. 1 / Под ред. Е.В. Протопопова. — Новокузнецк: СибГИУ, 2017. С. 219–222 с.
11. Ковальчук Т.В., Гусев А.А., Лицин К.В. Исследование электропривода системы подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор машины непрерывного литья заготовок // Изв. вузов. Электромеханика. 2018. Т. 61. № 5. С. 38–43.
12. Руководство по эксплуатации Shneider Electric Altivar ATV61. — Россия, 2009. — 469 с.
13. Лицин К.В., Царуш К.А. Модернизация электропривода устройства подачи слябов на продольную резку в условиях сталеплавильного производства АО “Уральская сталь” // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2018. № 5. С. 54–58.

Поступила 22 января 2019 г.

REFERENCES

1. Vinogradov A.B. *Vektornoe upravlenie elektroprikladami peremennogo toka* [Vector control of AC drives]. Ivanovo: GOU VPO “Ivanovskii gosudarstvennyi energeticheskii universitet im. V.I. Lenina”, 2010, 298 p. (In Russ.).
2. Lukin A.N. *Sistemy avtomatizirovannogo elektropriroda s vektornym upravleniem asinkhronnykh dvigatelei* [Systems of automated electric drive with vector control of asynchronous motors]. Magnitogorsk: MGTU, 2012, 50 p. (In Russ.).
3. Sokolovskii G.G. *Elektroprirody peremennogo toka s chastotnym regulirovaniem* [AC drives with frequency regulation]. Moscow: Akademiya, 2010, 272 p. (In Russ.).
4. Braslavskii I.Ya., Ishmatov Z.Sh., Polyakov V.N. *Energoberegayushchii asinkhronnyi elektroprirod* [Energy-saving asynchronous electric drive]. Braslavskii I.Ya. ed. Moscow: Akademiya, 2004, 256 p. (In Russ.).
5. Klyuchev V.I. *Teoriya elektropriroda* [Theory of electric drive]. Moscow: Energoatomizdat, 1998, 704 p. (In Russ.).
6. Koval’chuk T.V., Litsin K.V. Modernization of the electric drive system of the pusher of the interscale cooling system at LPTs-1 of JSC “Ural Steel”. *Aktual’nye problemy v mashinostroyenii*, Novosibirskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2018, vol.5, no. 1, pp. 60–65. (In Russ.).
7. Baskov S.N., Baskova T.V., Litsin K.V. Investigation of harmonic composition of non-sinusoidal signal of synchronous motor at vector-pulse start. *International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM 2017)*. Chelyabinsk, Russia, 16–19 May 2017, pp. 1177–1180.
8. Terekhov V.M., Osipov V.I. *Sistemy upravleniya elektroprirodov* [Control systems for electric drives]. Moscow: Akademiya, 2011, 304 p. (In Russ.).
9. Vol’dok A.I. *Elektricheskie mashiny* [Electrical machines]. Moscow: Energiya, 1998, 311 p. (In Russ.).
10. Litsin K.V., Koval’chuk T.V., Makarov Ya.V. *Avtomatizatsiya ustanovki mezhklet’evogo okhlazhdeniya listovogo prokata v LPTs-1 AO “Ural’skaya stal”* [Automation of the installation of inter-stand cooling of sheet metal in LPTs-1 JSC “Ural Steel”]. *Metallurgiya: tekhnologii, innovatsii, kachestvo: trudy XX Mezhdunar. nauchno-praktich. konf.* [Metallurgy: technology, innovation, quality: Proc. of XX International Scientific and Practical Conf.]. Protopopov E.V. ed. Novokuznetsk: SibGIU, 2017, pp. 219–222. (In Russ.).
11. Koval’chuk T.V., Gusev A.A., Litsin K.V. Investigation of the electric drive of the supply system of the slag-forming mixture into the mold of the continuous casting machine. *Izvestiya VUZov. Elektromekhanika*, 2018, vol. 61, no. 5, pp. 38–43. (In Russ.).
12. *Rukovodstvo po ekspluatatsii Shneider Electric Altivar ATV61* [User Manual for Shneider Electric Altivar ATV61]. Rossiya, 2009, 469 p. (In Russ.).
13. Litsin K.V., Tsarush K.A. Modernization of the electric drive of the slab feed unit for longitudinal cutting under the conditions of the steelmaking production of JSC “Ural Steel”. *Chernaya metallurgiya. Byulleten’ nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2018, no. 5, pp. 54–58. (In Russ.).

Received 22 January 2019