

УДК 621.746, 62-83, 669.02/.09

к.т.н. Ткачев М. Ю.

(АДИ ДонНТУ, г. Горловка, ДНР, mishel-tkachev@ya.ru)

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ ЗАМЕНЫ ПОГРУЖНОГО СТАКАНА СЛЯБОВОЙ МНЛЗ

Разработаны математическая модель манипулятора для замены погружного стакана слябовой машины непрерывного литья заготовок и алгоритм ее реализации с помощью специальных программ и соответствующего аппаратного обеспечения с использованием персонального компьютера. С использованием физической модели системы быстрой смены погружных стаканов и системы автоматического управления выполнено тестирование работы всех их компонентов. Комплекс мероприятий направлен на максимальное повышение уровня автоматизации технологической операции замены погружных стаканов с целью исключения субъективного фактора, влияющего на соблюдение правил охраны труда и положений техники безопасности.

Ключевые слова: манипулятор, сляб, УНРС, МНЛЗ, автоматизация, система автоматического управления (САУ), двигатель, привод, роботизированный комплекс.

Современное высокомеханизированное и автоматизированное производство немислимо без применения промышленных роботов (ПР), гибких автоматизированных производств (ГАП), обрабатывающих модулей или центров.

Первые промышленные роботы появились в США в 1959 году, когда были созданы роботы с программным управлением. В 1962 нашли своё применение роботы «Юнимейт», «Версатран» для обслуживания процессов литья,ковки, механической обработки, точечной сварки, покраски. В автомобильной и металлургической промышленности сроки окупаемости составляли 1,5–2,5 года, что было довольно высоким показателем для того времени [1].

Динамику роста выпуска ПР можно проследить по следующим цифрам: в 1978 г. в мире было 16000 ПР, в 1980 г. — 25000, в 1983 г. — в капиталистических странах — 31000 штук.

По такому показателю, как число роботов на 10000 рабочих на первом месте в мире Швеция — 40, в Японии — 13, в США и ФРГ — 3–4 шт. По ориентировочным данным в СССР в 1983 г. действовало около 7000 ПР и к 1990 г. число ПР планировалось довести до 375000 штук. В настоящее время

Япония продолжает удерживать первенство по проектированию новых типов роботов. Большое внимание уделяется созданию так называемых гуманоидных роботов, повторяющих движения человека, разрабатываются и выпускаются специализированные роботы для помощи людям с дефектами зрения, слуха, опорно-двигательного аппарата.

В условиях непрерывной разливки стали длинными сериями с применением защитных погружных стаканов стабилизация скоростных режимов истечения металла из промежуточного ковша в кристаллизатор МНЛЗ является важной технологической задачей, решение которой требует создания специальных устройств, позволяющих при необходимости осуществлять быструю замену огнеупорного элемента, экранирующего струю расплава от окружающей атмосферы.

Практика эксплуатации подобных устройств на ряде зарубежных и отечественных металлургических предприятий показала, что эффективность их применения значительно повышается, если они работают в комплексе с манипуляторами, обеспечивающими механизированную подачу на приемные направляющие разливочного устройства промежуточного ков-

ша предварительно разогретого до требуемой температуры резервного огнеупорного изделия, которое должно за доли секунды под действием силового цилиндра сменить вышедший из строя стакан.

Многообразие схем относительного расположения оборудования современных МНЛЗ и особенности их функционирования являются главными предпосылками для разработки системы автоматического управления операцией быстрой замены погружных стаканов [2, 3], которая в наибольшей мере соответствует условиям непрерывной разливки металла данного сталеплавильного цеха.

Целью работы является исследование базовой платформы системы автоматического управления манипулятора для замены погружного стакана слябовой машины непрерывного литья заготовок.

Задачей данной работы является разработка программ, реализующих в автоматическом режиме работу модулей кинематической цепи манипулятора для замены огнеупорного стакана установки непрерывной разливки стали.

Объект исследования — блок управления манипулятором с механической автоматикой (БУМ), оснащенный электромеханическими приводами, число которых рационально подобрано конструктором в стесненных производственных условиях с точки зрения критериальной оценки совершенства его концепции построения.

Предмет исследования — отработка структурных единиц системы автоматического управления приводами манипулятора новой конструкции на участке «промежуточный ковш — кристаллизатор» слябовой МНЛЗ.

В современной системе технологий промежуточный ковш МНЛЗ рассматривается как один из важнейших элементов, который непосредственным образом влияет на качество непрерывно литой заготовки.

В цепи технологических переливов он является промежуточной емкостью, поскольку с его помощью согласовывается поступление металла из сталеразливочно-

го ковша в кристаллизатор. При этом обеспечивается усреднение по химическому составу поступающей порции жидкого металла и предотвращение попадания шлака в кристаллизатор. Конструкция промежуточного ковша должна обеспечивать минимальные потери тепла металлом.

Промежуточный ковш обеспечивает поступление металла в кристаллизатор с определенным дозированным расходом и, обеспечивая хорошо организованную струю, позволяет разливать сталь в несколько кристаллизаторов одновременно, а также осуществлять серийную разливку методом «плавка на плавку» при смене сталеразливочных ковшей без прекращения и снижения скорости разливки. Конструкция и вместимость промежуточного ковша в значительной степени определяют стабильность процесса разливки стали и качество заготовки.

Причины смены положения промковша в вертикальной плоскости следующие:

1. Переход к разливке слитка другого сечения.

2. Переход на разливку других марок стали с отличающимся от предыдущего химическим составом. Изменение положения промковша обусловлено при этом необходимостью формирования соответствующих новой марке стали гидродинамических потоков в кристаллизаторе МНЛЗ.

3. Необходимость увеличения срока службы огнеупорного стакана в зоне его усиления циркониевой вставкой в шлаковом поясе.

Структурно-функциональная блок-схема управления электроприводами поворота штанги манипулятора и подъема (опускания) его базы. Для создания математико-механической модели, а также программы автоматического управления манипулятора для замены погружного стакана необходимо создать соответствующий задаче алгоритм его работы [4]. Задача заключается в поочередной реализации функционирования четырех двигателей, которые, в свою очередь, работают с разной скоростью вращения, а также необходимости постоянного учета параметров датчиков, сле-

дящих за положением каждого захватного устройства (ЗУ) в пространстве [5].

Первым звеном в данном алгоритме (рис. 1) выступает операция «Подъем/опускание манипулятора», необходимая в том случае, если положение ЗУ установки стакана находится выше (ниже) паза разливочного устройства промежуточного ковша.

Системой, оценивающей уровень рассогласования в данном агрегате, выступает оптический датчик, установленный на штоке переталкивающего погружной стакан устройства. Когда манипулятор опустился или же поднялся на необходимую величину, включается электропривод, отвечающий за поворот стрелы установки погружного стакана. Стрела, в свою очередь, поворачивается на 90° , и в этот момент по механической связи кинематической цепи внутри нее стакан переходит из горизонтального в вертикальное положение. Как только стрела совершит перемещение на 90° , будет достигнуто конечное положение. Затем срабатывает привод переталкивающего устройства стакана и электропривод поворота стрелы ЗУ отработанного стакана. После того как отработанный стакан будет успешно извлечен, манипулятору необходимо вернуться в исходное положение до следующего запуска данной системы.

Реализация типовых перемещений при установке (захвате) разливочного стакана. Основные операции при установке (извлечении) погружного стакана следующие:

1. Погружной стакан находится в так называемом накопителе, из которого с помощью специального приспособления переносится в ЗУ манипулятора и устанавливается в исходном положении с помощью фиксаторов.

2. Из этого положения новый огнеупорный стакан будет перемещаться в рабочую зону разливки («промежуточный ковш — кристаллизатор») с помощью системы электропривода; угол поворота заранее задан и равен 90° .

3. В процессе поворота штанги стакан из горизонтального положения должен пе-

рейти в вертикальное и затем быть установлен между промежуточным ковшом и кристаллизатором.

Поворот стакана на 90° осуществляется с помощью специальной механической передачи, расположенной внутри штанги.

В процессе разливки стали база манипулятора должна подняться (опуститься) на 50–100 мм.

С учетом отмеченных технологических требований к функционированию роботизированного блока разработан алгоритм управления системой взаимосвязанных электроприводов поворота штанги и ее подъема (опускания) и на его базе создан аналог модели управления. Общий вид математической модели механической системы приведен на рисунке 2, где в качестве базового устройства представлена неподвижная часть манипулятора. Для моделирования механической части роботизированного блока используется библиотека SimMechanics [6] в среде Matlab.

Разработанная модель была создана по отдельным участкам звеньев: первое звено отвечает за подъем конструкции манипулятора. Затем следует отработка поворота штанги со стаканом, и в это же время начинает свою работу механизм ЗУ стакана. Затем манипулятор возвращается в исходное положение. Также в системе присутствует регулятор положения, который позволяет отслеживать перемещение каждого звена манипулятора.

В первую очередь за подъем отвечает часть модели «Подъем конструкции», где величину регулирует блок Repeating Sequence, а блок Body — положение звена в пространстве. Следующим звеном рассматривается ЗУ для установки погружного стакана и его фиксации. За эту операцию отвечает часть модели «Общая стрела». В модели реализуется 2 режима: установка нового стакана (ЗУ для подачи стакана) и захват изношенного (ЗУ для забора стакана). В процессе подачи участвует ЗУ (подающий стакан схват), а в процессе уборки стакана участвует второй блок ЗУ (забирающий стакан схват).

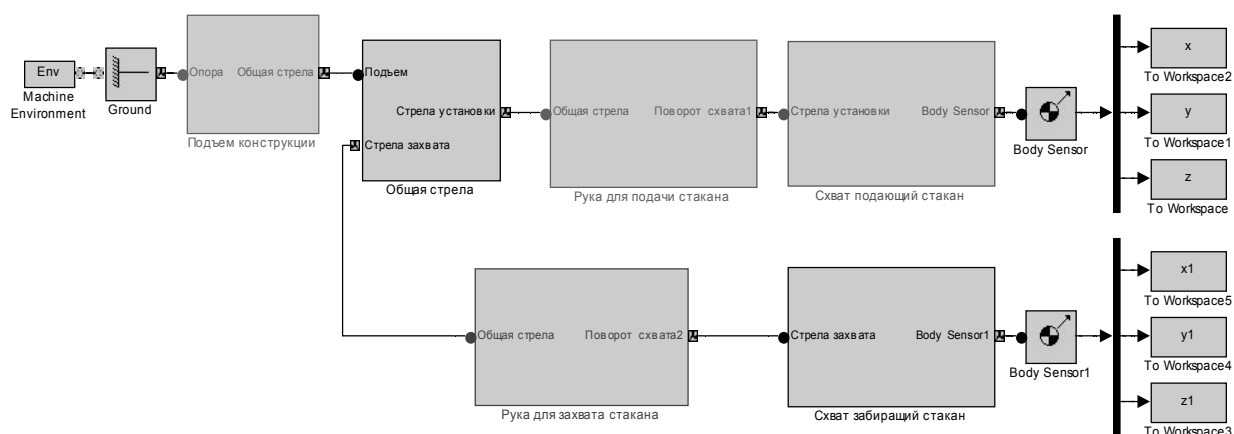


Рисунок 2 Математическая модель робота-манипулятора

В качестве задающего воздействия в подпрограммах выступает блок Repeating Sequenc. Подробные данные для каждого звена рассмотрены в таблице.

Выбор элементов, реализующих автоматическое управление манипулятором для замены погружного стакана. На данный момент существует множество способов автоматизации роботов-манипуляторов, но самые актуальные на данный момент — это преобразователи частоты и микроконтроллеры. Для данной работы в первую очередь рассматривался преобразователь частоты EMERSON Commander SK. Commander SK — это недорогой компактный частотный преобразователь общего назначения. Отличительной особенностью Commander SK является простота настройки и ввода в эксплуатацию. Благодаря большому набору параметров (доступны при подключении ПК) и поддержке некоторых SM-модулей согласовывается работа Commander SK с другими компонен-

тами системы управления. За счет встраиваемого PLC (Logic Stick) на базе Commander SK можно реализовать небольшую систему управления. При этом количество точек ввода-вывода увеличивается устанавливаемыми в Commander SK опциональными SM-модулями. Но, несмотря на множество преимуществ данного преобразователя, основными недостатками являются монтаж, громоздкость системы управления, а также стоимость.

Основу системы автоматического управления составляет микроконтроллер. В настоящее время значимыми являются несколько семейств процессоров, основные из которых созданы на архитектуре ARM. Архитектура ARM (от англ. Acorn RISC Machine) — семейство лицензируемых 32-битных и 64-битных микропроцессорных ядер разработки компании ARM Limited. Большинство представителей данного семейства программируются при помощи аппаратно-программных средств — Arduino.

Таблица

Данные блока Repeating Sequenc для каждого звена манипулятора

Звено	Time values	Output values
Подъем конструкции	[0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 18]	[0 0.005 0.01 0.015 0.02 0.025 0.03 0.03]
Общая стрела	[0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12]	[0 15 30 45 60 75 90 75 60 45 30 15 0]
Рука для подачи стакана	[0 3 6 9 12]	[0 0 0 0]
Рука для захвата стакана	[0 3 6 9 12]	[90 45 5 45 90]
Схват подающий стакан	[0 3 6 9 12]	[0 -45 -90 -45 0]
Схват забирающий стакан	[0 3 6 9 12]	[0 15 45 15 0]

За основу была взята библиотека Waijung Blockset в среде Matlab. Данная библиотека позволяет создать компактную программу и прошить ее в подходящий контроллер, одним из которых является STM32F4 Discovery, выбранный для реализации системы автоматического управления манипулятором.

Основанные на ARM Cortex-M4 микроконтроллеры серии STM32 F4 являются продолжением ведущей линейки STM32, обладая еще более высокой производительностью [7]. Так же, как серия STM32 F2, эти микроконтроллеры используют запатентованный STMicroelectronics'ом ART Accelerator для достижения наилучших результатов тестов среди основанных на ядре Cortex-M микроконтроллеров, достигая показателей в 225 DMIPS/606 CoreMark и работая с флеш-памятью на частоте 180 МГц. Инструкции DSP и модуль операций с плавающей точкой дают возможность применять данные контроллеры в широком спектре проектов. Динамическое потребление питания позволяет снизить потребление тока при выполнении кода из флеш-памяти до 140 мкА/МГц для STM32F401 (максимальная частота до 84 МГц) и до 238 мкА/МГц для STM32F42x/43x, работающих на частоте до 180 МГц. Микроконтроллеры серии STM32 F4 являются результатом взаимодействия возможности управления в реальном времени с производительностью обработки сигналов, свойственной сигнальным процессорам.

Также был произведен подбор подходящих контроллеров двигателя постоянного тока. Исходя из паспортных данных двигателей, а также условий окружающей среды, было принято решение использовать контроллер шагового двигателя 2C-VNH2SP30 [8].

Драйвер VNH2SP30-E является связующим звеном между микропроцессором и двигателем, предназначенным для широкого спектра автоматических систем. Устройство включает в себя двойной монолитный драйвер с верхней стороны и два

переключателя с нижней стороны. Переключатель высокого уровня для драйвера разработан с использованием известной и проверенной технологии VIPower™ M0 фирмы STMicroelectronics, которая обеспечивает эффективную интеграцию на одном и том же кристалле силового транзистора MOSFET с интеллектуальной схемой защиты сигналов/защиты. Модуль может управлять двумя моторами с большими токами или мощным биполярным шаговым двигателем в режимах «Прямой ход» и «Реверс». Данное устройство было специально разработано для сложных условий эксплуатации, обеспечивает улучшенные тепловые характеристики благодаря открытым колодкам.

В качестве логической связи между оценочной платой STM32F4 Discovery и драйвером 2C-VNH2SP30 был использован 8-канальный двунаправленный преобразователь логических уровней напряжения 3,3/5 В на микросхеме TXS0108E. Преобразователь работает в широком диапазоне питающих напряжений от 1,2 В до 5,5 В. Источники питания могут быть раздельными, но с общим отрицательным выводом. Для переключения направления преобразования дополнительного сигнала не требуется; микросхема преобразователя выполнит это автоматически.

Преобразователь имеет небольшие размеры и идеально подходит для портативных устройств, а также устройств с автономным питанием.

Создание базовой платформы системы управления. Для реализации системы автоматического управления манипулятором для замены погружного стакана была разработана программа в среде Matlab на основе библиотеки WaijungBlockset. В данной программе осуществляется управление двигателями отдельных звеньев манипулятора, что позволяет изменять скорость вращения двигателей и их время работы.

Отработка системы начинается с нажатия зеленой кнопки на блоке управления, которая подключена к отладочной плате

STM32F4 Discovery. После замены стакана необходимо повторно нажать на зеленую кнопку, чтобы манипулятор вернулся в исходное положение.

Начальным блоком, реализующим нажатие кнопки и, соответственно, запуск программы, является блок Digital input. После этого осуществляется задержка входного сигнала при помощи блока Debounce. Сигнал с этого блока идет на подпрограммы «Ход вперед» и «Ход назад», которые выполнены при помощи блоков MultiportSwitch. В это же время сигнал поступает на вход первого таймера (TimerMS) «Подъем/опускание конструкции». Входные сигналы блока TimerMS — сигнал с кнопки (Reset) и время работы таймера (Constant). На выходе осуществлено инвертирование сигнала, поскольку таймер работает в режиме «отключения на время». Заданное время работы поступает на вход блока AdvanvedPWM, реализующего запуск двигателя и регулирование ШИМ. Блок Gain служит для задания скорости вращения двигателя в относительных единицах.

После отработки первого таймера сигнал идет по логической связи на следую-

щий таймер. Затем происходит аналогичная отработка программы для оставшихся двигателей.

Подпрограммы данной автоматической системы приведены на рисунках 3–4.

В данной подпрограмме сигнал задания с кнопки (зеленая) поступает на вход переключателя MultiportSwitch, переключая из положения «0» в положение «1». Это позволяет программе работать в режиме «Ход вперед». Также в подпрограмме предусмотрен обрыв на случай, если необходимо совершить аварийную остановку манипулятора. Эту функцию выполняет блок «Разрешение на работу/остановка программы», переключая входящее задание в положение «0». Наличие светодиода «Зеленый» на контакте PD12 позволяет оператору наблюдать, в каком режиме в данный момент работает программа. Данная подпрограмма работает по аналогии с режимом «Прямой ход» за исключением того, что во время нажатия на кнопку запуска программы переключатель переходит в положение «0», после повторного нажатия переключает в положение «1».

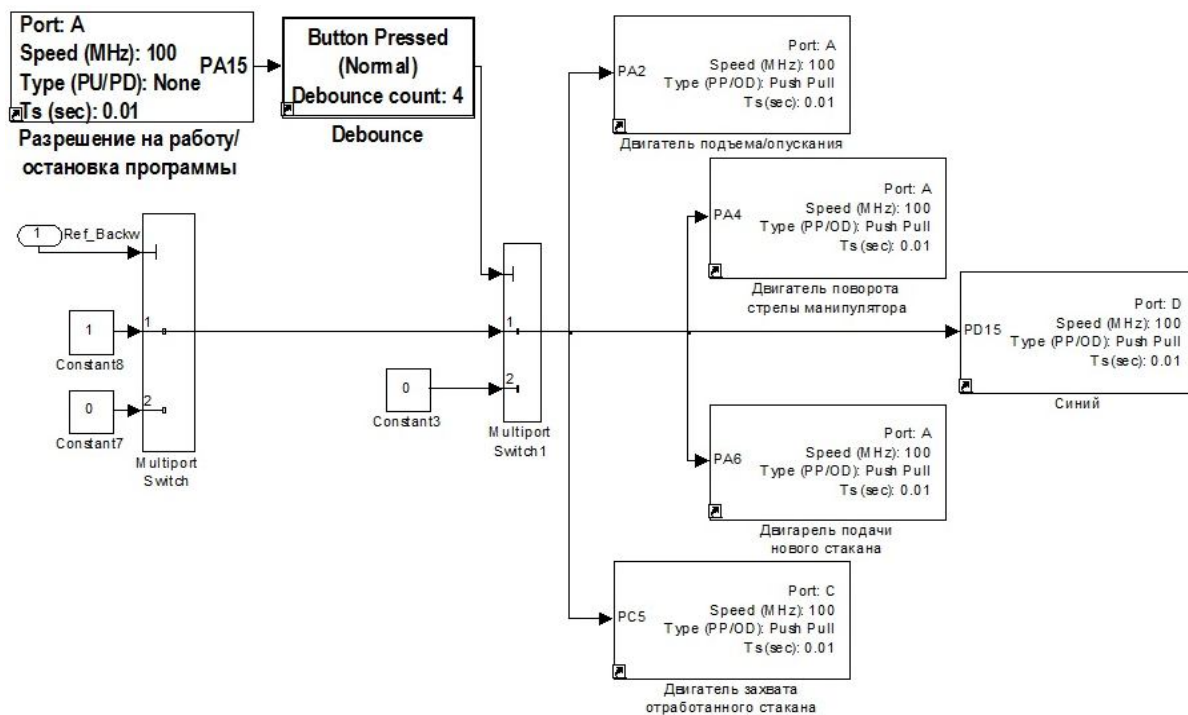


Рисунок 3 Подпрограмма реализации прямого хода четырех двигателей

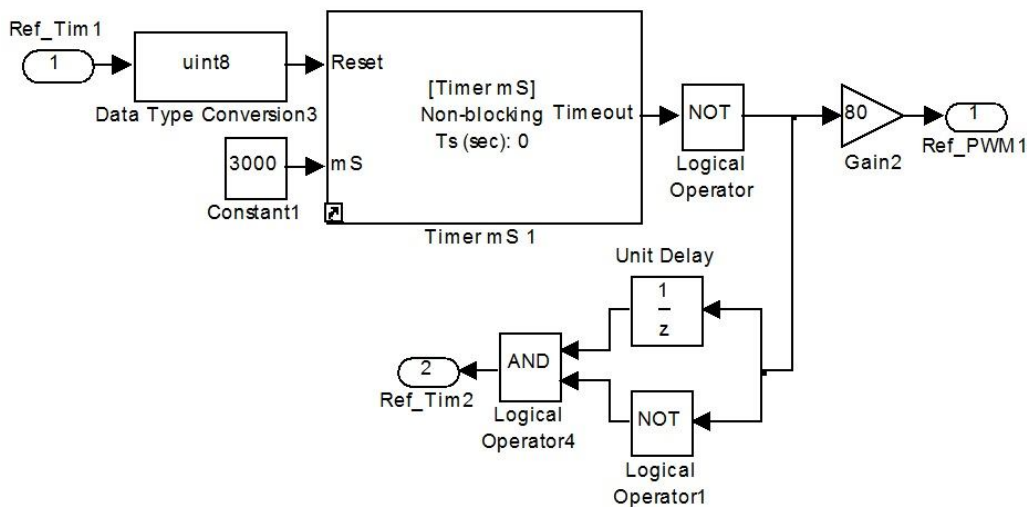


Рисунок 4 Подпрограмма реализации обратного хода четырех двигателей

Необходимо рассмотреть содержимое подпрограмм, управляющих временем и скоростью вращения каждого двигателя. Сигналы с данных подпрограмм переходят на вход блока AdvanvedPWM, запускающего двигатель.

Сборка системы управления на базе лабораторного образца манипулятора для замены погружного стакана. В настоящее время на отечественных металлургических предприятиях в МНЛЗ практически не используются следящие электроприводы. В основном применяются позиционные приводы, реализующие контроль над перемещением ряда звеньев системы, положение которых определяется технологическими требованиями, в частности, контролем над положением разрезаемого слитка и его проходом на транспортировку с линии машины. Известны устройства по типу промышленного манипулятора [1, 2], реализующие установку погружного стакана. Для данной системы предложено использование простой системы на базе асинхронного короткозамкнутого двигателя.

Установка погружного стакана — трудоемкая операция, требующая достаточно высокой квалификации обслуживающего персонала. В данном исследовании рассматривается автоматизация процесса ус-

тановки/снятия погружного стакана промежуточного ковша (МНЛЗ). Поставленная задача решалась в планировании выбора системы электропривода, ее звеньев, обратных связей, реализующих законы оптимального управления.

Система подобного рода, находящаяся в стадии разработки, как правило, требует значительных усилий для ее реализации. Это относится в первую очередь к выбору преобразователя частоты и совместимого с ним приводного электродвигателя.

Основа разрабатываемой системы слежения заключается в том, что разливочный ковш МНЛЗ меняет свое местоположение в процессе разлива стали в зависимости от ряда технологических факторов. Лабораторная модель манипулятора настраивается таким образом, что она всегда готова к работе в режиме «замена стакана». Приводной двигатель выбран из серии машин 4А, которые обладают высокими КПД и перегрузочной способностью; преобразователь частоты позволяет получить широкий диапазон регулирования скорости, а обратные связи обеспечат высокую жесткость механических характеристик. С другой стороны, за счет датчика интенсивности возможно формирование желаемой (оптимальной) тахограммы движения по ограничению ускорения и рывка на начальном этапе дви-

жения погружного стакана. Для ограничения перемещений используем оптический датчик, который устойчив к высоким температурам окружающей среды.

Важным достоинством большинства оптических датчиков является возможность производить бесконтактные измерения; кроме того, такие датчики обычно довольно точны и имеют высокое быстродействие. Таким образом, полученные результаты анализа рекомендованы к использованию при проектировании и наладке опытно-промышленного образца манипулятора для замены погружных огнеупорных стаканов слябовой МНЛЗ.

Для создания автоматизированной системы управления в первую очередь необходимо собрать схему подключения комплектующего оборудования и провести ее диагностику.

Схема подключения полностью должна соответствовать заданному алгоритму, а соединительные контакты расположены в соответствии с программой. Помимо управления манипулятором для замены погружного стакана, данная система имеет возможность управлять любым промышленным роботом, имеющим от одного до четырех приводов. Благодаря компактности плат и схемы подключения данная система была вмонтирована в БУМ (рис. 5).

Экспериментальные исследования системы автоматического управления приводами манипулятора для замены погружного стакана на участке «промежуточный ковш — кристаллизатор МНЛЗ». В качестве эксперимента БУМ был подключен к действующему лабораторному стенду, разработанному кафедрой механического оборудования заводов черной металлургии им. проф. Седуша В. Я. (ДонНТУ, г. Донецк). Демонстрация ключевых моментов работы системы автоматического управления проиллюстрирована рисунках 6–12. Первым действием для начала отработки системы является подача команды разрешения нажатием на красную кнопку БУМ (рис. 6), индикатором чего будет включение синего светодиода.

Для начала работы манипулятора необходимо нажать на зеленую кнопку БУМ (рис. 7). Подтверждением начала работы является включение зеленого светодиода. Следующим этапом является работа манипулятора в соответствии с заданным алгоритмом управления (рис. 8–11).

Завершающим этапом является повторное нажатие зеленой кнопки БУМ для запуска режима «Обратный ход» каждого электропривода манипулятора. О начале работы данного режима свидетельствует включение синего светодиода (рис. 12).

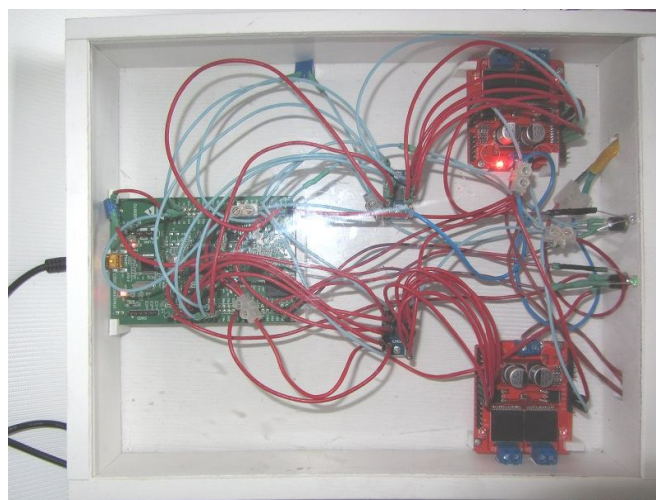


Рисунок 5 Внешний вид блока управления манипулятором (БУМ)



Рисунок 6 Подача команды разрешения на отработку системы БУМ посредством нажатия красной кнопки

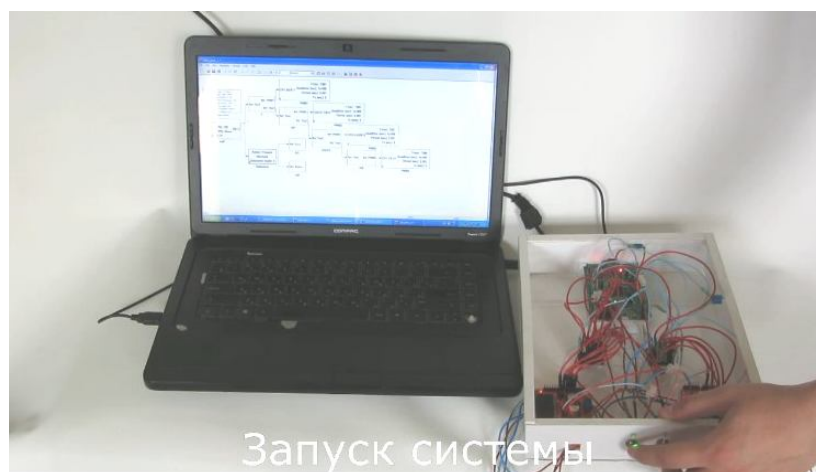


Рисунок 7 Запуск БУМ посредством нажатия зеленой кнопки

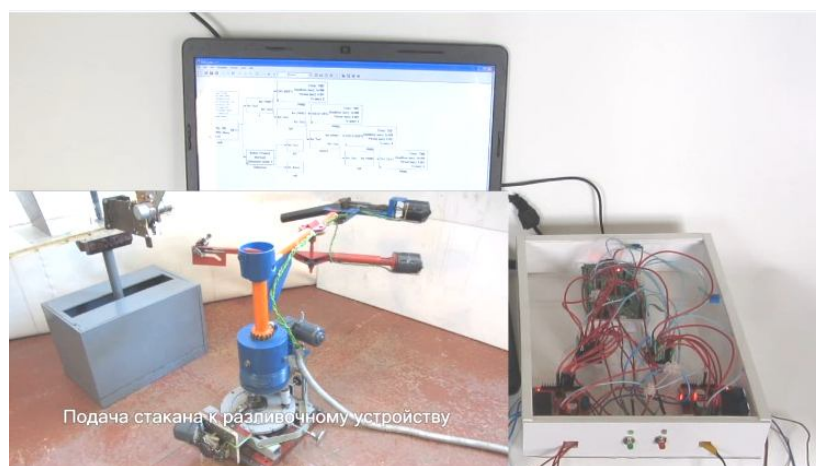


Рисунок 8 Подача нового погружного стакана в кристаллизатор МНЛЗ

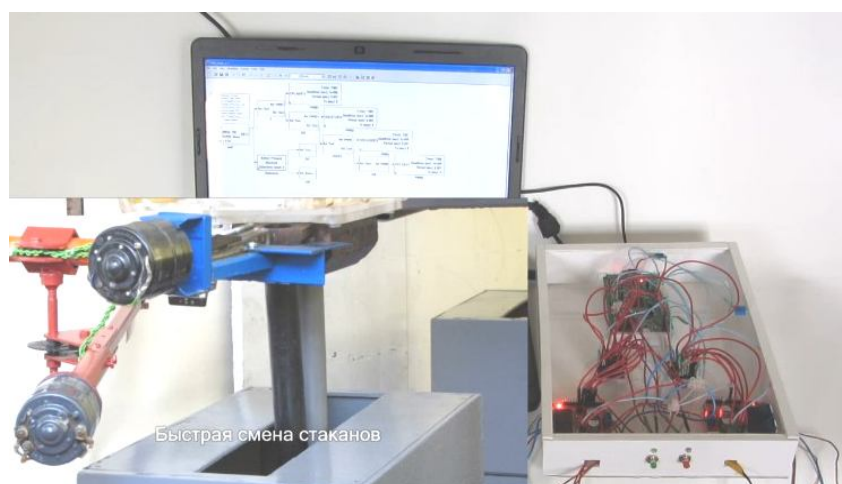


Рисунок 9 Запуск электропривода переталкивающего устройства смены погружного стакана

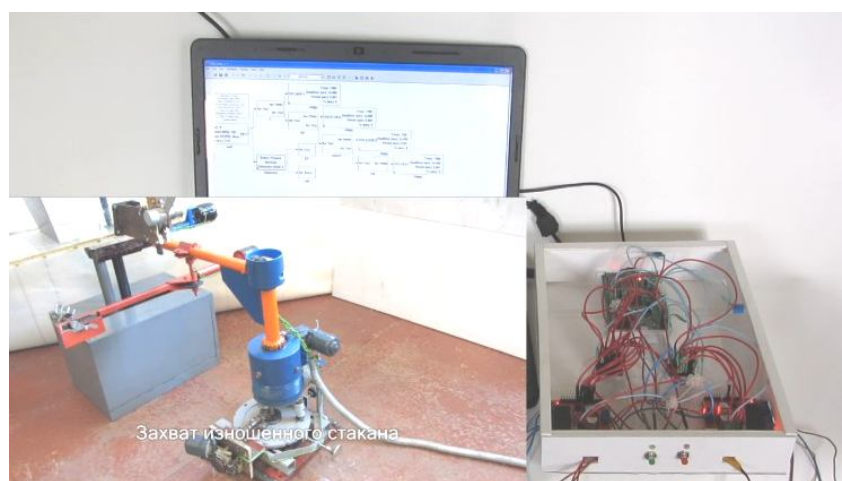


Рисунок 10 Запуск электропривода захвата изношенного погружного стакана

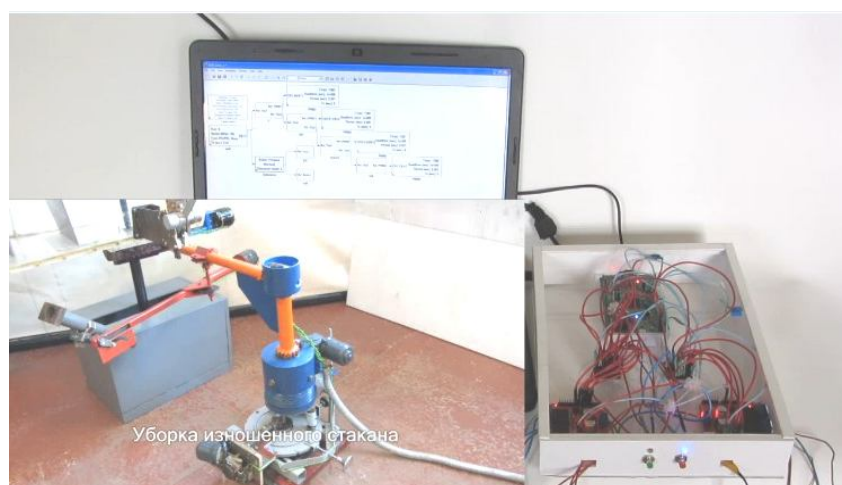


Рисунок 11 Удаление из полости кристаллизатора

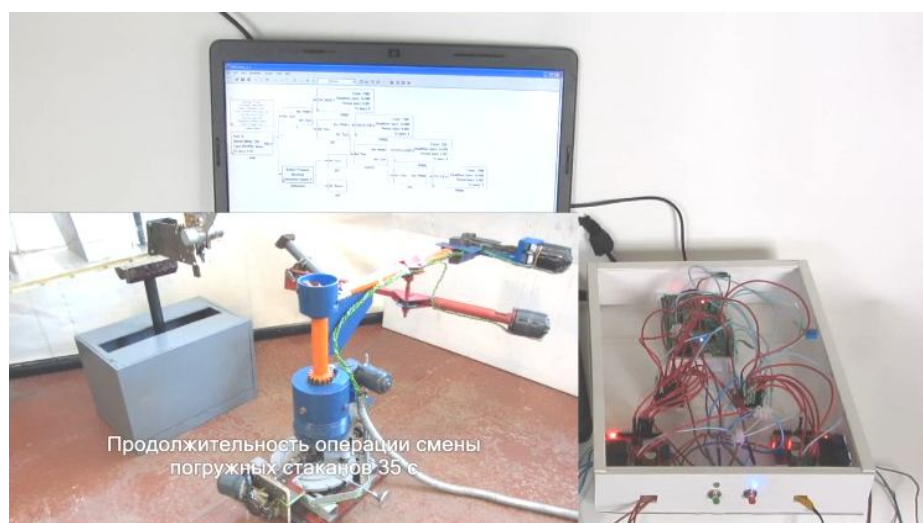


Рисунок 12 Возврат манипулятора в исходное положение (индикация — включение синего светодиода)

Таким образом, в работе проведены исследования процесса автоматизации манипулятора для замены промежуточного стакана на участке «промежуточный ковш — кристаллизатор» слывовой МНЛЗ.

Для автоматизированной системы управления (АСУ) подъемом (опусканием) базы манипулятора была выбрана система электромеханического привода с двигателем постоянного тока. Для полной автоматизации технологической операции замены вышедшего из строя погружного огнеупорного стакана система управления приводов

реализующего ее механизма была сконструирована с помощью микроконтроллера STM32 F4. Для этого была предварительно спроектирована математическая модель при помощи прикладного пакета MatLab и его внутренней библиотеки SimMechanics.

Направлением дальнейших исследований является совершенствование архитектуры САУ с позиции уточнения параметров математической модели промышленного образца модели манипулятора для замены погружного стакана в течение срока его гарантированной эксплуатации.

Библиографический список

1. Борисенко, В. Ф. Введение в специальность [Текст] / В. Ф. Борисенко. — Донецк : ДонНТУ, 2014. — 357 с.
2. Патент 2639089 РФ, МПК В22D41/56. Манипулятор для замены погружного стакана на слывовой машине непрерывного литья заготовок [Текст] / Е. Н. Смирнов, С. П. Еронько, М. Ю. Ткачев, В. А. Скляр, А. В. Сазонов ; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет „МИСиС“». — № 2016111482 ; заявл. 29.03.2016 ; опубл. 19.12.2017, Бюл. № 35. — 21 с. : ил.
3. Разработка роботизированного комплекса для замены погружного стакана на участке промежуточный ковш — кристаллизатор МНЛЗ [Текст] / М. Ю. Ткачев, В. Ф. Борисенко, К. Н. Шаповалов и др. // Вестник ДонНТУ. — 2016. — № 1. — С. 27–32.
4. Ткачев, М. Ю. Совершенствование конструкции и перспективы внедрения системы быстрой смены погружных стаканов слывовой МНЛЗ [Текст] / М. Ю. Ткачев // Вестник ДонНТУ. — 2019. — № 4. — С. 10–17.
5. Еронько, С. П. Конструктивные и энергосиловые параметры манипулятора для замены погружного стакана МНЛЗ [Текст] / С. П. Еронько, Е. В. Ошовская, М. Ю. Ткачев // Вестник ДонНТУ. — 2016. — № 3. — С. 33–42.

6. *SimMechanics* — моделирование механических систем [Электронный ресурс] / Matlab.ru. — Режим доступа: <http://matlab.ru/products/simmechanics> (по состоянию на 22.02.2022).

7. Обзор микроконтроллеров семейства STM32F4 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://fpga.in.ua/dsp/dsp-theory/obzor-mikrokontrollerov-semejstva-stm32f4.html> (по состоянию на 22.02.2022).

8. Драйвер для управления двигателями VNH2SP30 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.dessy.ru/catalog-pdc436299.html> (по состоянию на 22.02.2022).

© Ткачев М. Ю.

Рекомендована к печати д.т.н., доц., зав. каф. ММК ДонГТИ Вишневским Д. А., д.т.н., проф., зав. каф. АТ АДИ ДонНТУ Мищенко Н. И.

Статья поступила в редакцию 21.02.2022.

PhD in Engineering Tkachev M. Yu. (*Automobile and Road Institute of DonNTU, Gorlovka, DPR, mishel-tkachev@ya.ru*)

DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL AND AN AUTOMATIC CONTROL MANIPULATOR SYSTEM TO REPLACE THE SUBMERGED NOZZLE OF A SLAB CCM

A mathematical model of a manipulator has been developed to replace the submerged nozzle of a slab continuous casting machine and an algorithm for its implementation using special programs and appropriate hardware on a personal computer. Using a physical model of the quick-change system of immersion nozzles and an automatic control system, the operation of all their components was tested. The complex of measures is aimed at maximizing the level of automation of the technological operation of replacing submerged nozzles in order to eliminate the subjective factor affecting compliance with labor protection rules and safety regulations

Key words: *manipulator, slab, CCP, CCM, automation, automatic control system (ACS), engine, drive, robotic complex.*