

УДК 621.746, 62-83, 669.02/.09

к.т.н. Ткачѐв М. Ю.

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

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИЕЙ ЗАМЕНЫ ПОГРУЖНОГО СТАКАНА СЛЯБОВОЙ МНЛЗ

В данной статье исследована система электроприводов и управления работающим в цилиндрической системе координат манипулятором, реализующим установочные перемещения погружного стакана. Разработаны алгоритм управления роботизированным блоком, математическая модель, а также создана система управления лабораторным стендом, реализующим типовые перемещения при установке огнеупорного стакана в технологическую цепочку непрерывной разливки «промежуточный ковш — кристаллизатор» слябовой МНЛЗ.

Ключевые слова: манипулятор для замены погружного стакана, сляб, МНЛЗ, автоматизация, АСУ ТП, двигатель постоянного тока, робот-манипулятор.

Важнейшим функциональным элементом, обеспечивающим стабильность процессов движения металла в кристаллизаторе МНЛЗ, является погружной стакан. Осуществляя технологический перелив жидкого металла на участке «промежуточный ковш — кристаллизатор», он выполняет функции защиты металла от вторичного окисления, подвода расплава под уровень в кристаллизатор, способствуя рациональной организации движения конвективных потоков в жидкой ванне, а также предотвращения загрязнения стали включениями расположенной на мениске шлакообразующей смеси.

В современной практике непрерывной разливки слябовой заготовки все большее распространение получает техника быстрой замены погружного стакана. Целесообразность такой замены обуславливается возможностью исключения отходов непрерывнолитой заготовки со шлаковыми поясами, которые образуются при эксплуатации обычных неавтоматизированных устройств быстрой смены. Такая замена достигается с помощью специального приспособления, устанавливаемого под днищем промежуточного ковша и обеспечивающего быстрое перемещение погружных стаканов (нового и изношенного старого) вдоль плоскости скольжения. Замена

погружного стакана осуществляется в течение одной-двух секунд, что не нарушает нормального течения процесса разливки (не изменяется положение головки стопора, не прекращается работа системы автоматического контроля уровня металла в кристаллизаторе и т. п.).

В исследовании основное внимание уделено механизмам поворота, подачи и захвата стакана манипулятором. Вопросы автоматизированной подачи, поворота в вертикальной плоскости нового погружного стакана, а также захвата отработанного с помощью роботизированного блока решаются на базе экспериментального макета (аналога модели) системы управления, для которой разработан алгоритм, реализуемый с использованием типовых элементов, таких как базовая плата STM32F4, драйверы VNH2SP30, конвертеры логических уровней.

Целью данной работы является исследование системы управления электроприводов манипулятора замены погружного стакана слябовой МНЛЗ для повышения технико-экономических показателей ее работы. Автоматизированное устройство смены погружного стакана разрабатывается с целью увеличения продолжительности кампании промежуточного ковша (по сравнению с его ручной установкой), а

также увеличения на 2–3 % выхода годного при непрерывной разливке.

Задачей данной работы является разработка на основании достаточного объема аналитических исследований математической модели робота-манипулятора, его подсистем, осциллограмм переходных процессов работы приводов и структурно-функциональной системы управления ими, а также соответствующих программ.

Объект исследования — рациональное технологическое оборудование автоматизированной системы управления устройства быстрой смены погружных стаканов слябовой МНЛЗ.

Предмет исследования — аналитическое определение параметров переходных процессов, протекающих в электромеханическом автоматизированном приводе промышленного манипулятора, предназначенного для замены изношенного огнеупорного погружного стакана без прекращения разливки стали.

Последовательность выполнения основных этапов операции по замене погружного стакана:

– огнеупорный стакан находится в так называемом накопителе устройства предварительного разогрева, из которого с помощью специального устройства он переносится рабочим в захватное устройство (ЗУ) манипулятора и устанавливается в исходном положении с помощью фиксаторов;

– из этого положения стакан будет перемещаться в рабочую зону разливки (промежуточный ковш — кристаллизатор) с помощью системы электромеханического привода манипулятора [1]; угол поворота заранее задан и равен 90°;

– в процессе поворота штанги стакан из горизонтального положения должен перейти в вертикальное, а затем быть установлен в разливочном устройстве промежуточного ковша.

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

В процессе разливки стали база манипулятора и его конструкции должны подняться (опуститься) на 50–100 мм для увеличения срока службы защитного огнеупора (погружного стакана).

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 макет управления. Общий вид макета механической системы приведен на рисунке 1, где в качестве базового устройства представлена неподвижная часть манипулятора. Для моделирования механической части роботизированного блока используется библиотека SimMechanics в среде Matlab [2].

Разработанная модель была создана по отдельным участкам звеньев: первое звено отвечает за подъем конструкции манипулятора. Затем идет отработка поворота штанги со стаканом и в это же время начинает свою работу механизм захвата стакана. Далее манипулятор возвращается в исходное положение. Также в системе [3] присутствует регулятор положения, который позволяет отслеживать перемещение каждого звена манипулятора (рис. 2–7).

В первую очередь, как было сказано ранее, за подъем отвечает часть модели «Подъем конструкции», где величину регулирует блок Repeating Sequence, а блок Body — положение звена в пространстве. Следующим звеном рассматривается штанга для установки погружного стакана и его забора; за эту операцию отвечает «Общая стрела» [4–6]. В модели реализуется два режима: установка нового стакана (рука для подачи стакана) и захват изношенного (рука для забора стакана). В процессе установки участвует ЗУ (подающий стакан схват); а в процессе захвата стакана участвует второй блок ЗУ (забирающий стакан схват).

На базе модели автоматизированной системы управления электроприводами получены расчетные осциллограммы [3]

переходных процессов механической установки отдельных звеньев роботизированного блока (рис. 8, 9).

Структурно-функциональная система управления электроприводами поворота штанги и подъема (опускания) базы манипулятора. На рисунке 10 представлен алгоритм управления автоматической системой манипулятора. В первую очередь идет отработка подъема (опускания). Специальный датчик проверяет, на необходимый ли уровень поднялась конструкция. Исходя из алгоритма, подъем (опускание) будет реализовываться до тех пор, пока не остановится в необходи-

мом положении базы манипулятора. На следующем этапе одновременно приходят в движение стрела установки стакана и его переход из горизонтального положения в вертикальное. Далее предполагаемый датчик проверяет, находится ли стакан в месте установки. Если нет, поворот будет осуществляться до тех пор, пока не остановится в необходимом положении ЗУ. В то время, когда стакан устанавливается в паз разливочного устройства промежуточного ковша [7], начинается свое движение стрела забора отработанного стакана. После захвата стакана, конструкция возвращается в исходное положение.

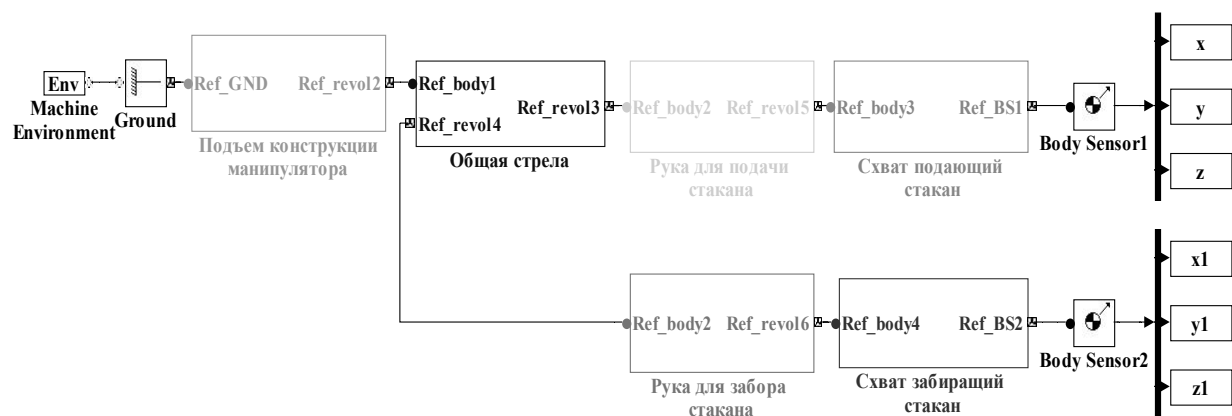


Рисунок 1 Математическая модель робота-манипулятора замены огнеупорного стакана для непрерывной разливки стали

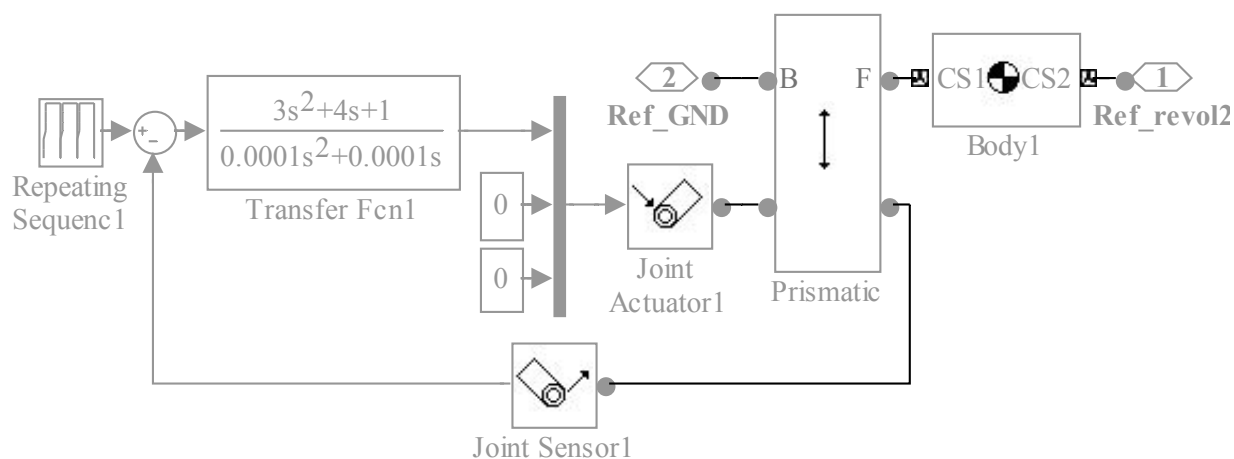


Рисунок 2 Подсистема, реализующая подъем конструкции манипулятора

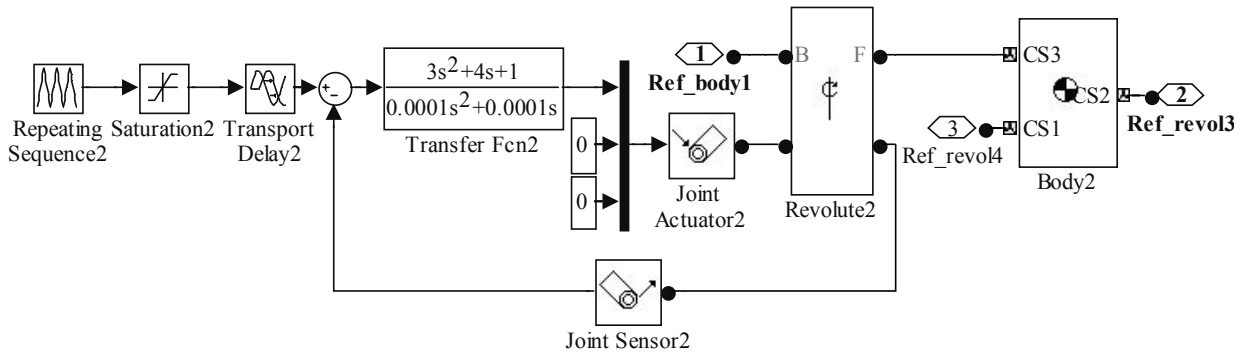


Рисунок 3 Подсистема, реализующая работу общей штанги манипулятора

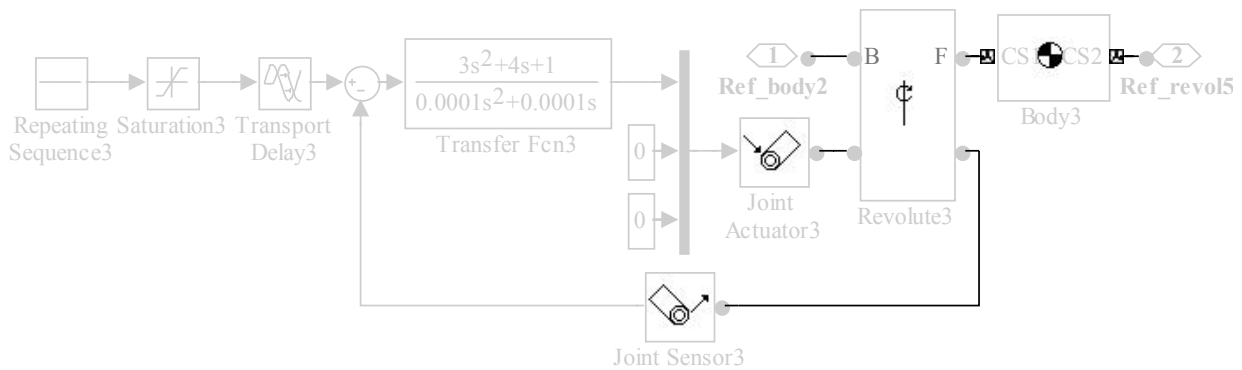


Рисунок 4 Подсистема, реализующая работу штанги подачи нового стакана

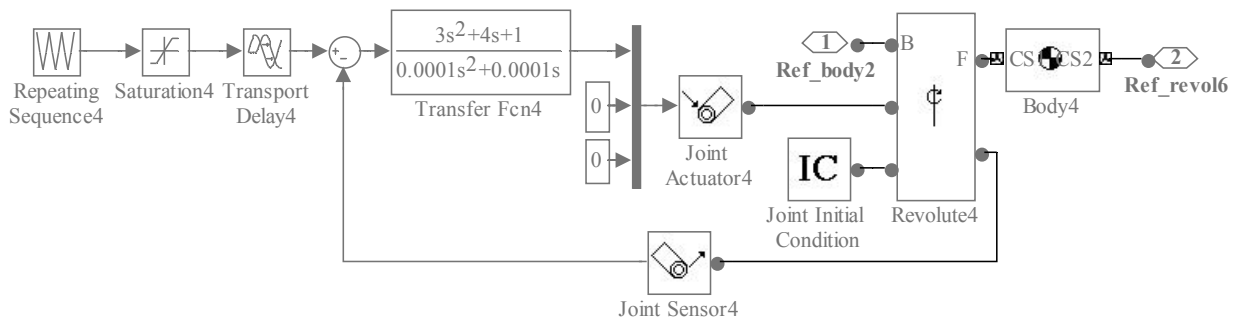


Рисунок 5 Подсистема, реализующая работу штанги ЗУ отработанного стакана

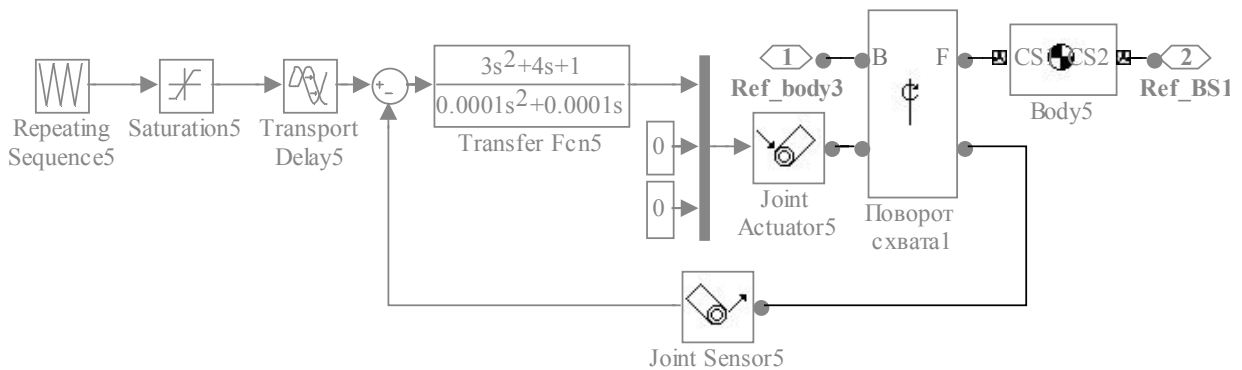


Рисунок 6 Подсистема, реализующая работу ЗУ, подающего новый стакан

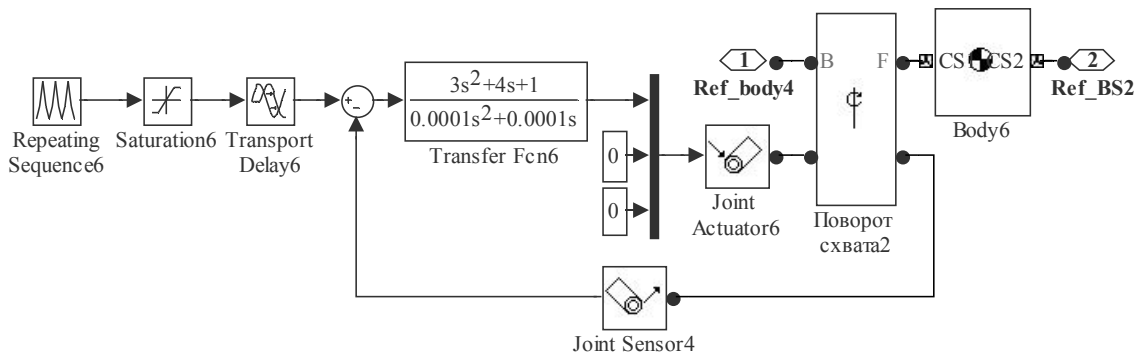


Рисунок 7 Подсистема, реализующая работу ЗУ, забирающего отработанный стакан

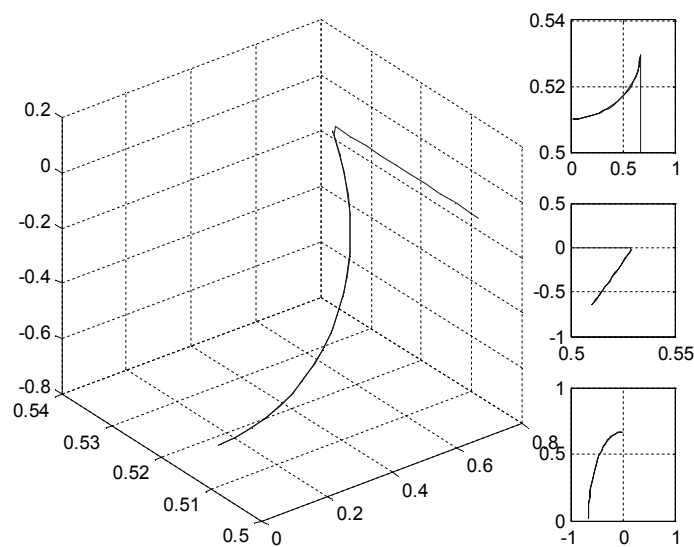


Рисунок 8 График перемещения рабочего органа подачи стакана и его проекции на координатные плоскости, м

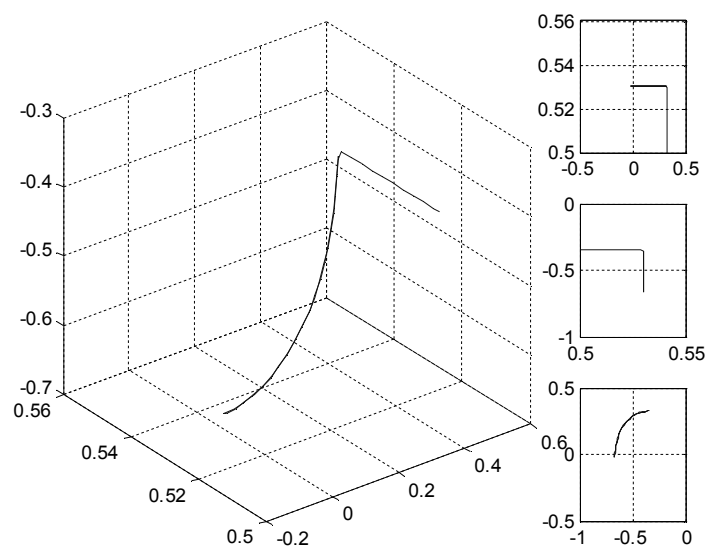


Рисунок 9 График перемещения рабочего органа захвата отработанного стакана и его проекции на координатные плоскости, м

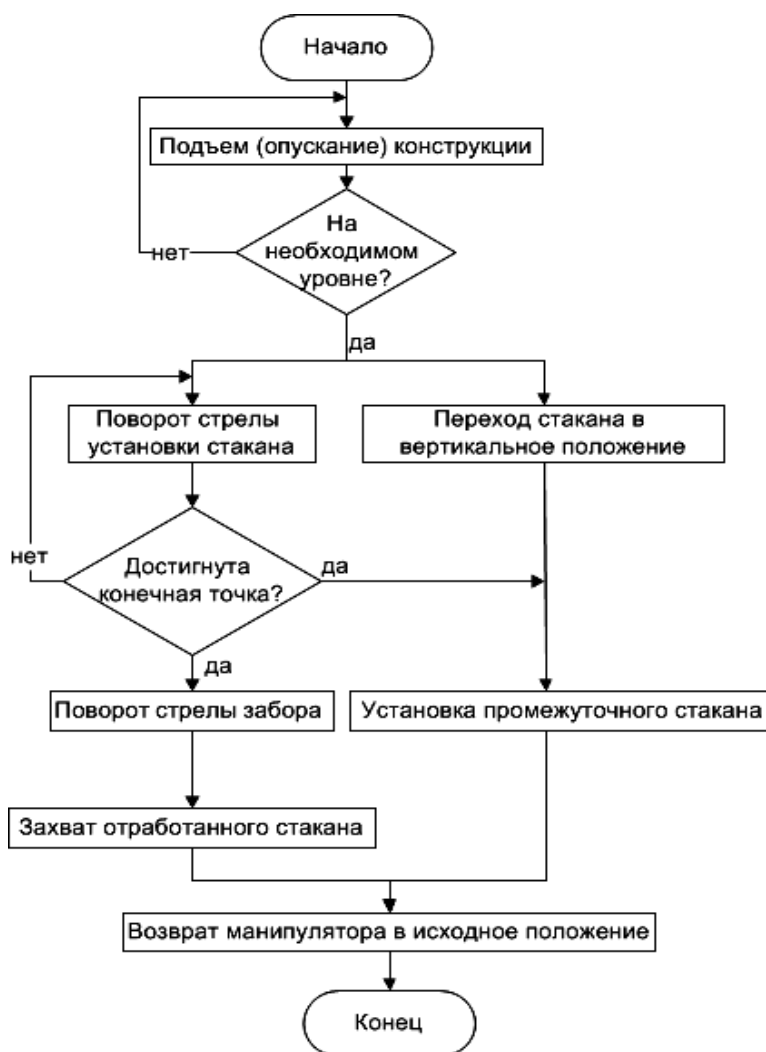


Рисунок 10 Блок-схема реализации автоматического управления манипулятором

Выбор элементов для создания системы управления. Система управления роботом-манипулятором для замены погружного стакана реализуется при помощи таких типовых элементов, как базовая плата STM32F4, два драйвера VN12SP30 и два конвертера логических уровней.

Система управления роботом-манипулятором для замены погружного стакана была реализована с помощью микроконтроллера STM32F4 Discovery.

Для реализации автоматизированной системы управления было рассмотрено множество микроконтроллеров серии STM32F4 и Arduino. Выбрана была оценочная плата STM32F4 Discovery, так как она больше всех подходит для работы с па-

кетом прикладных программ Matrix Laboratory. Данная плата (рис. 11, 12) предназначена для ознакомления с возможностями 32-битного микроконтроллера на основе ARM-архитектуры, а также для реализации собственных устройств и приложений с использованием аппаратного обеспечения платы.

Для реализации проекта изначально предполагалось использование драйвера L298N. Однако после тестирования двигателей постоянного тока, которые на данный момент используются в макете [8], выяснилось, что пусковые токи (до 8 А) слишком велики для такого драйвера. Поэтому для реализации системы управления был выбран мощный драйвер двигателей, рабочий

ток которого 14 А. Драйвер краткосрочно может работать при 30 А (продолжительность зависит от качества охлаждения).

Драйвер основан на микросхеме VN12SP30 и имеет множество преимуществ по сравнению с конкурентами. Имеет защиту от перегрева, защиту от перенапряжения и защиту по току, что делает модуль гораздо надежнее. Тем не менее при высоких нагрузках рекомендуется ставить на микросхему небольшой кулер или радиатор.

Восьмиканальный двунаправленный преобразователь логических уровней цифровых сигналов основан на микросхеме TXS0108E. Для переключения направления преобразования дополнительного сигнала не требуется: микросхема преобразователя выполнит это автоматически. Был использован для реализации проекта потому, что напряжение логики с платы STM32F4 — 3 В, а для того чтобы драйвер «открылся» и начал свою работу, необходимо 5,5 В.

С порта 3V платы STM32F4 реализовано подключение к преобразователю логи-

ки на порты UA и OE. С блока питания «+» выполнено подключение к порту UB преобразователя логики и порту +5V драйвера. С блока питания «-» осуществлено подключение к портам GND на плате, преобразователю и драйверу.

Создание базовой платформы и сборки системы управления. Программа была разработана в среде Matlab в библиотеке Waijung Blockset для автоматизации промышленного робота-манипулятора замены погружного стакана слябовой МНЛЗ (рис. 13). Программа предусматривает управление четырьмя двигателями поочередно, обеспечивая прямой ход и реверс. С помощью данной программы оператор имеет возможность регулировать время работы и скорость вращения каждого двигателя.

Начинается работа программы с нажатия кнопки PA0 на оценочной плате STM32F4Discovery, которая запускает отработку системы на прямой ход. Повторное нажатие кнопки возвращает манипулятор в исходное положение.

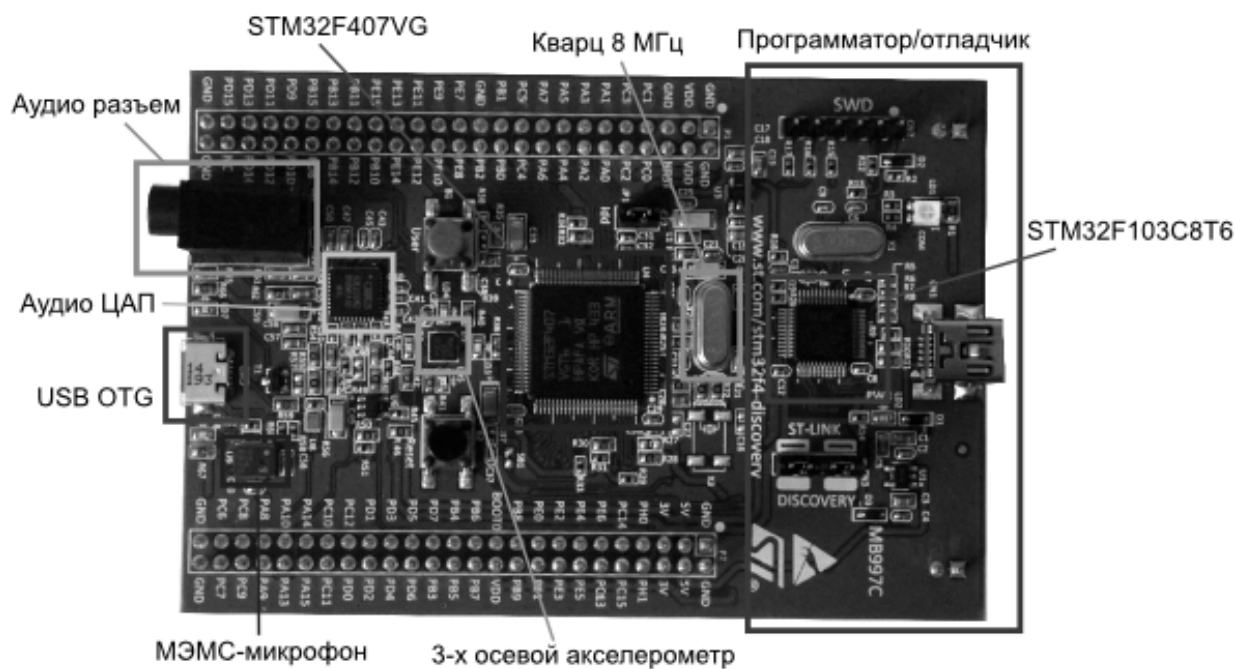


Рисунок 11 Компоненты отладочной платы

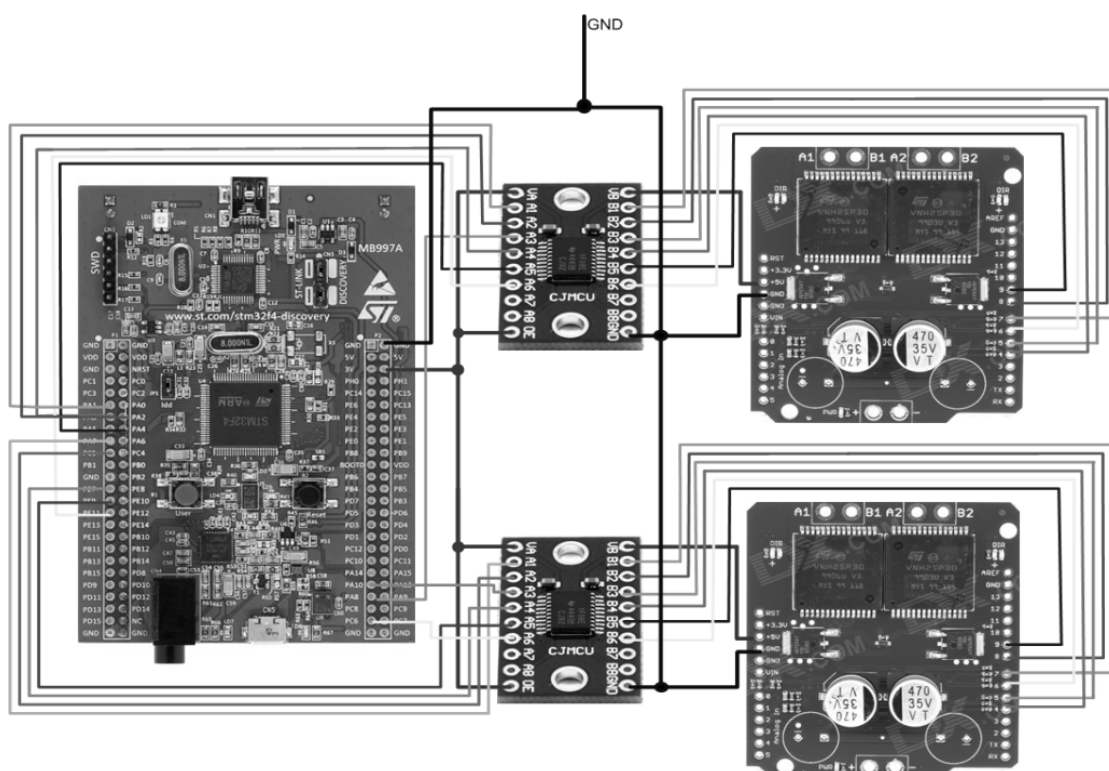


Рисунок 12 Схема подключения оценочной платы и дополнительного оборудования STM32F4 Discovery

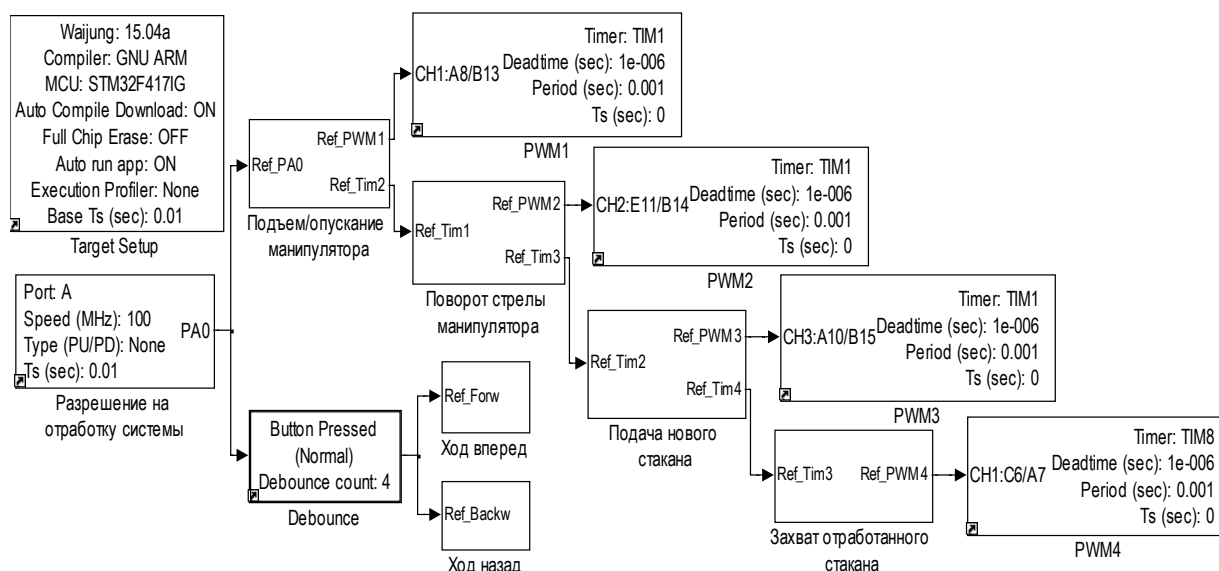


Рисунок 13 Программа, реализующая автоматическое управление манипулятором

Блок Digital input используется для реализации нажатия кнопки. Блок Debounce используется для задержки сигнала, например, при чтении цифрового ввода с помощью кнопки/переключателя. С блока Debounce

сигнал идет на Multiport Switch, который регулирует работу хода вперед (PA1) и назад (PA2). Установленные светодиоды демонстрируют, в какую сторону работают двигатели. В это же время сигнал идет на от-

работку первого двигателя, который отвечает за подъем (опускание) конструкции (рис. 14). Блок Timer mS отвечает за время работы. На вход Reset этого блока приходит сигнал с кнопки, а на вход mS приходит задание на время. Выход сигнала с блока Timer mS необходимо инвертировать, поскольку таймер работает в режиме «отключения на время». Далее сигнал идет на блок Advanved PWM, который обеспечивает работу ШИМ, тем самым регулируя скорость вращения двигателей. Перед этим Advanved PWM установлен блок Gain, в котором задаем скорость в относительных единицах.

После отработки первого таймера, сигнал идет по логической связи на следующий таймер. Далее происходит аналогичная обработка программы для оставшихся двигателей (рис. 15–19).

Таким образом, выполнена оценка технологических требований механизма для установки нового погружного стакана в разливное устройство промежуточного ковша слябовой МНЛЗ. Выбрана система электромеханического привода.

Разработана система управления приводами манипулятора для автоматизированной подачи нового стакана, захвата и уборки отработанного на участке «промежуточный ковш — кристаллизатор», а также создана математическая модель в среде Matlab в библиотеке SimMechanics.

Выполнена эмпирическая проверка работоспособности модели. Тестирование системы показало эффективность и высокую надежность при реализации типовых перемещений операции замены погружного стакана.

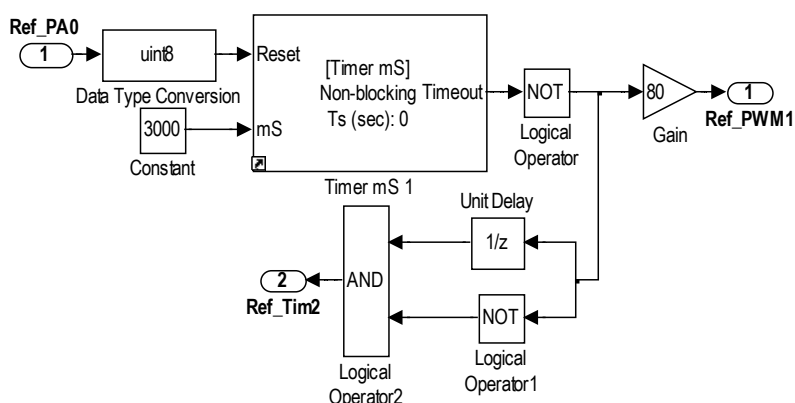


Рисунок 14 Подпрограмма блока «Подъем/ опускание манипулятора»

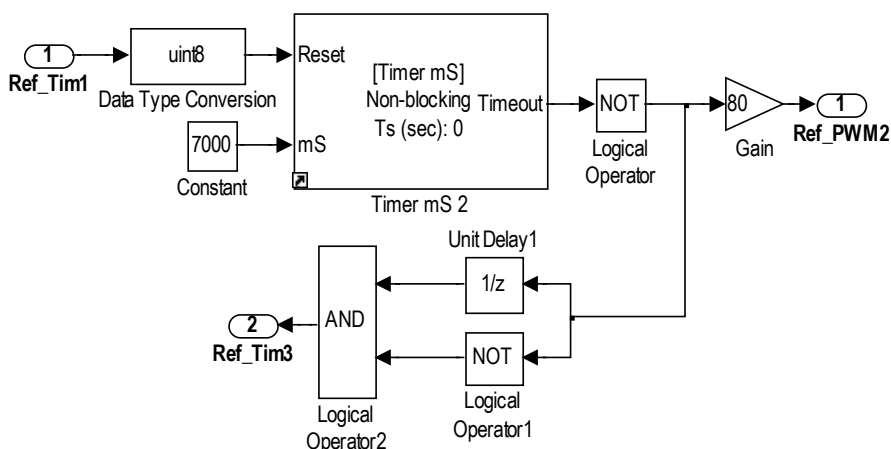


Рисунок 15 Подпрограмма блока «Поворот стрелы манипулятора»

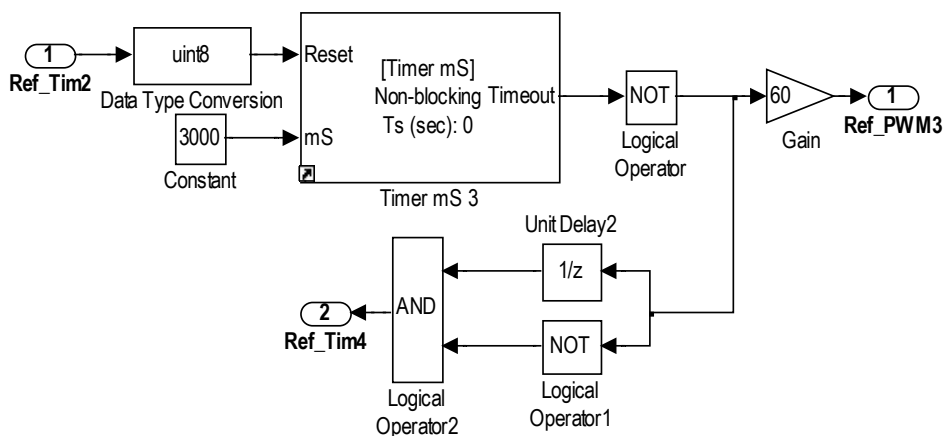


Рисунок 16 Подпрограмма блока «Подача нового стакана»

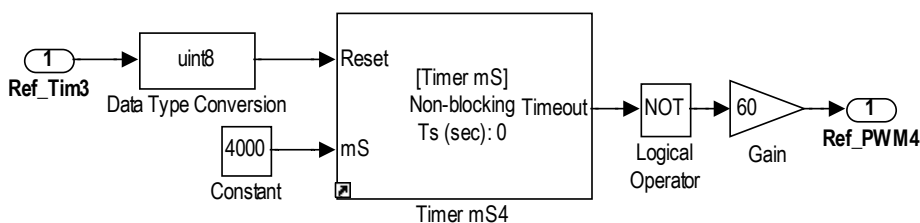


Рисунок 17 Подпрограмма блока «Захват отработанного стакана»

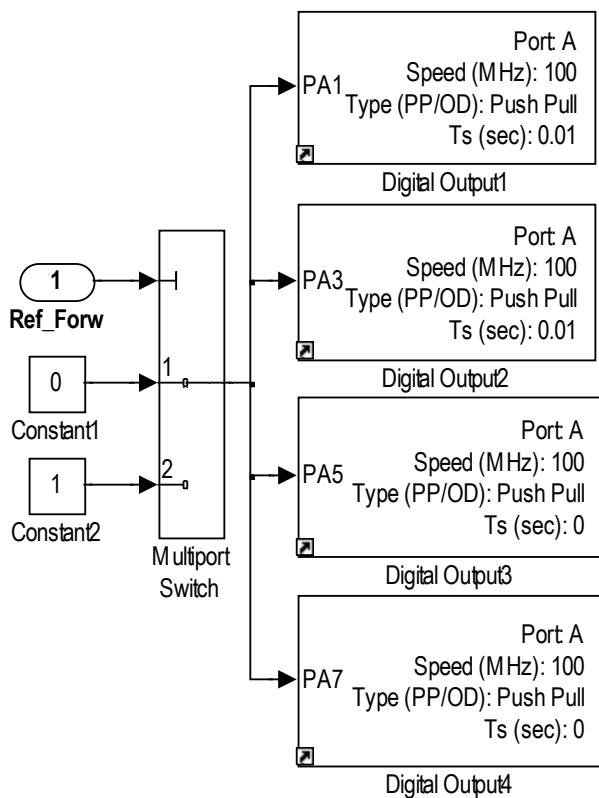


Рисунок 18 Подпрограмма блока «Ход вперед»

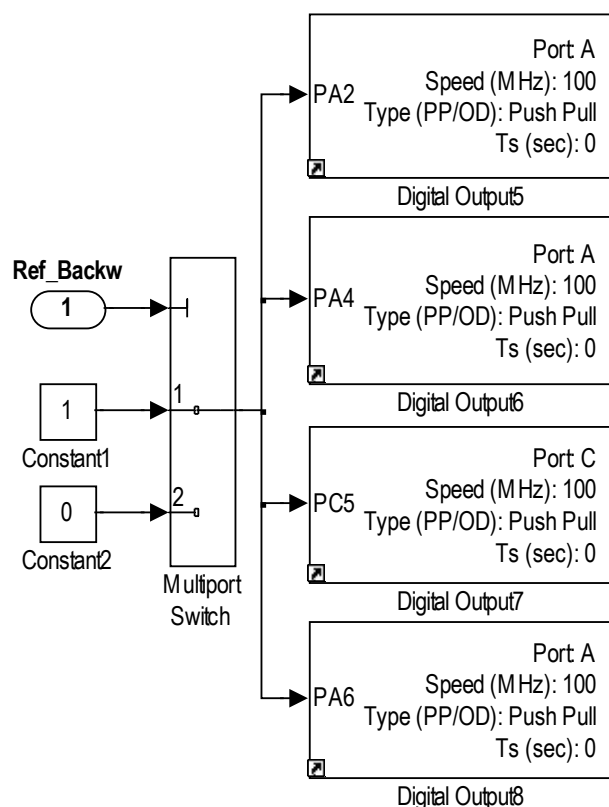


Рисунок 19 Подпрограмма блока «Ход назад»

Таким образом, рассмотрены вопросы разработки и исследования макета системы автоматического управления роботизированным блоком механизма для установки (извлечения) погружного стакана в линии машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), служащего в качестве соединительного защитного экрана между промежуточным ковшем и кристаллизатором МНЛЗ.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на адаптацию разработанной АСУ ТП к уникальным производственным условиям сталеплавильных цехов современных металлургических предприятий, а также ее включение в систему автоматического управления агрегата МНЛЗ.

Библиографический список

1. Пат. 2639089 РФ, МПК В22D41/56. Манипулятор для замены погружного стакана на слябовой машине непрерывного литья заготовок / Е. Н. Смирнов, С. П. Еронько, М. Ю. Ткачев, В. А. Скляр, А. В. Сазонов ; заявитель и патентообладатель Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». — № 2016111482 ; заявл. 29.03.2016 ; опубл. 19.12.2017, Бюл. № 35. — 21 с. : ил.
2. SimMechanics — моделирование механических систем [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://matlab.ru/products/simmechanics> (дата обращения 20.02.2022).
3. Вараницкий, Д. С. Разработка и исследование математической модели робота-манипулятора для замены погружного стакана [Текст] / Д. С. Вараницкий, К. Н. Шаповалов, М. Ю. Ткачев // Инновационные перспективы Донбасса. В 8 т. Т. 2. Перспективы развития электротехнических, электромеханических и энергосберегающих систем : материалы III международной научно-практической конференции. — Донецк : ДонНТУ, 2017. — С. 164–168.

4. Адамия, Р. Ш. Основы рационального проектирования металлургических машин (динамические расчеты и синтез структурных схем) [Текст] / Р. Ш. Адамия, В. М. Любода. — М. : Металлургия, 1984. — 128 с.

5. Яковлев, Р. А. Ограничение динамических нагрузок в металлургических машинах [Текст] : учебное пособие / Р. А. Яковлев. — М. : Изд-во МГТУ, 1990. — 36 с.

6. Сопилкин, Г. В. Совершенствование теоретических основ и методов технической диагностики, обеспечивающих повышение надежности металлургических машин на стадии эксплуатации [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.04.04 / Сопилкин Георгий Викторович. — Днепропетровск: [б.и.], 1993. — 35 с.

7. Филатова, О. А. Совершенствование методики проектирования и модернизация оборудования промежуточных ковшей МНЛЗ на основе моделирования потоков металла [Текст] : дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13 / Филатова Ольга Анатольевна. — Магнитогорск: [б.и.], 2010. — 142 с.

8. Сорочан, Е. Н. Увеличение ресурса приводов тяжело нагруженных металлургических машин на основе развития методов расчета и совершенствования их конструкций [Текст] : дис. ... канд. техн. наук: 05.02.02 / Сорочан Елена Николаевна. — Мариуполь : [б.и.], 2015. — 191 с.

© Ткачѐв М. Ю.

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

Статья поступила в редакцию 13.03.2023.

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

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR THE TECHNOLOGICAL OPERATION OF REPLACING A SUBMERGED NOZZLE OF THE SLAB CCM

The work is devoted to the study of transient processes of electromechanical drives that implement, without interrupting the casting of steel, the replacement of a submerged refractory nozzle of the slab CCM. Study of parameters of the mathematical model manipulator, the design of which is protected by a patent for inventions, was realized through the development of special programs that implement automatic control of structural units of the kinematic chain of its mechanism. The developed rational automated control system for replacing the submerged nozzle allows limiting the dynamic forces acting on the heavily loaded electromechanical drive of the manipulator with minimal technical and economic costs to increase its reliability.

Key words: *manipulator to replace the submerged nozzle, slab, CCM, automation, automated process control system, direct current motor, robot manipulator.*