

Программно-аппаратный комплекс – комплектовщик аккумуляторов для их сборки в батарею

А.С. Климов, Ю.В. Краснобаев, Е.Р. Хабибуллин, И.Е. Бородин, Е.Ю. Янаев

Сибирский федеральный университет, Красноярск

Аннотация: В настоящее время аккумуляторные батареи широко применяются в различных областях техники. Они создаются путём параллельного соединения аккумуляторов в блоки, а затем последовательного соединения блоков в батареи. Производимые промышленностью аккумуляторы имеют технологический разброс параметров и соединение аккумуляторов в блоки должно производиться не случайным образом, а с учётом их индивидуальных параметров. В статье рассмотрены вопросы создания программно-аппаратного комплекса, выполненного на основе промышленного робота – манипулятора, предназначенного для извлечения аккумуляторов из массива аккумуляторов с известными параметрами и установки их в ячейки сборочной кассеты в последовательности, учитывающей индивидуальные параметры аккумуляторов. Рассматривается как аппаратная, так и программная часть комплекса по перемещению аккумуляторов. Адаптация манипулятора к возможному смещению положения аккумуляторов в зоне хранения и сборочной кассеты осуществляется за счёт использования технического зрения.

Ключевые слова: программно-аппаратный комплекс, промышленный робот, адаптивный манипулятор, аккумуляторная батарея, алгоритм.

Аккумуляторные батареи (АБ) находят широкое применение в различных областях техники и сферах деятельности людей. Они используются как в автономных объектах, не связанных с электрическими сетями, так и в стационарных объектах, входя в состав источников бесперебойного питания [1]. Аккумуляторные батареи изготавливаются путём параллельного и последовательного соединения аккумуляторов согласно ГОСТ Р МЭК 62620-2016. Аккумулятор характеризуется рядом параметров, важнейшими из которых являются ёмкость и внутреннее активное сопротивление аккумулятора (ГОСТ Р МЭК 62660-1-2014, ГОСТ Р МЭК 62620-2016, ГОСТ Р 59846-2021). Выпускаемые промышленностью аккумуляторы имеют технологический разброс параметров. Перед сборкой аккумуляторов в АБ, для каждого из аккумуляторов определяются его ёмкость и внутреннее активное сопротивление (ВС). Далее производится параллельное соединение аккумуляторов в блоки таким образом, чтобы

емкости блоков имели примерно равную величину, а аккумуляторы, входящие в состав блока, имели близкие постоянные времени, вычисляемые как произведение емкости аккумулятора на его внутреннее активное сопротивление. Далее полученные блоки соединяются последовательно в АБ (ГОСТ Р МЭК 62620-2016).

Для комплектования аккумуляторов, входящих в состав блока, необходимо из массива аккумуляторов (МА) с известными ёмкостью и ВС, выбрать аккумуляторы, которые обеспечат примерное равенство емкостей $Q_{ср}$ блоков и постоянных времени τ аккумуляторов внутри блока. Эта работа может быть выполнена путём последовательного перебора всех аккумуляторов, входящих в МА и подбора аккумуляторов с необходимыми параметрами. Более правильным вариантом является разработка программы для ЭВМ, которая упорядочивает МА и определяет, какие аккумуляторы должны быть взяты из МА для установки в блок АБ. Пример таблицы МА с параметрами аккумуляторов и трёх таблиц параметров аккумуляторов, выбранных из массива для сборки в блоки, полученных с использованием разработанной программы для ЭВМ, приведён на рис.1. В таблице МА перемещаемые аккумуляторы выделены цветом. Отклонение емкостей $Q_{ср}$ полученных блоков составляет менее 2% в большую и меньшую стороны при отклонении емкостей отдельных аккумуляторов, входящих в МА до 25% в большую и меньшую стороны от среднего значения.

Примерный вид АБ типа 3S5P, которая состоит из трёх блоков из пяти параллельно включённых аккумуляторов, приведён на рис. 2,а. На рис. 2,б приведена электрическая схема соединения аккумуляторов в этой АБ. С целью уменьшения длины проводников, соединяющих соседние блоки, аккумуляторы каждого блока с чётным номером размещены так, чтобы их положительные полюсы располагались вблизи отрицательных полюсов аккумуляторов блоков с нечётными номерами (см. рис. 2,а). Такое

расположение блоков аккумуляторов необходимо учитывать при сборке АБ. Перемещение аккумуляторов из кассеты с МА в сборочную кассету (СК) для их последующей сборки в АБ может производить рабочий – комплектовщик, или эту работу может выполнить промышленный робот – манипулятор (ПРМ).

Таблица МА с параметрами аккумуляторов						
№1:1 Q = 1,2564 Ач Rвн.а = 0,0206 Ом	№1:2 Q = 2,0314 Ач Rвн.а = 0,0179 Ом	№1:3 Q = 1,8445 Ач Rвн.а = 0,0187 Ом	№1:4 Q = 2,0215 Ач Rвн.а = 0,018 Ом	№1:5 Q = 1,5464 Ач Rвн.а = 0,0216 Ом	№1:6 Q = 1,6741 Ач Rвн.а = 0,0231 Ом	№1:7 Q = 1,8498 Ач Rвн.а = 0,0154 Ом
№2:1 Q = 1,8521 Ач Rвн.а = 0,0182 Ом	№2:2 Q = 1,7631 Ач Rвн.а = 0,0215 Ом	№2:3 Q = 1,9201 Ач Rвн.а = 0,0165 Ом	№2:4 Q = 1,5045 Ач Rвн.а = 0,0252 Ом	№2:5 Q = 1,3414 Ач Rвн.а = 0,0216 Ом	№2:6 Q = 1,5944 Ач Rвн.а = 0,0205 Ом	№2:7 Q = 2,0791 Ач Rвн.а = 0,0231 Ом
№3:1 Q = 1,8032 Ач Rвн.а = 0,0175 Ом	№3:2 Q = 1,9572 Ач Rвн.а = 0,0202 Ом	№3:3 Q = 1,2513 Ач Rвн.а = 0,0154 Ом	№3:4 Q = 1,6749 Ач Rвн.а = 0,0248 Ом	№3:5 Q = 2,007 Ач Rвн.а = 0,0162 Ом	№3:6 Q = 1,9661 Ач Rвн.а = 0,0252 Ом	№3:7 Q = 1,2762 Ач Rвн.а = 0,0202 Ом
№4:1 Q = 1,6845 Ач Rвн.а = 0,0166 Ом	№4:2 Q = 1,9741 Ач Rвн.а = 0,022 Ом	№4:3 Q = 1,6924 Ач Rвн.а = 0,0197 Ом	№4:4 Q = 1,4269 Ач Rвн.а = 0,0189 Ом	№4:5 Q = 1,9326 Ач Rвн.а = 0,0207 Ом	№4:6 Q = 2,0294 Ач Rвн.а = 0,0153 Ом	№4:7 Q = 2,0444 Ач Rвн.а = 0,019 Ом
№5:1 Q = 1,557 Ач Rвн.а = 0,0145 Ом	№5:2 Q = 1,7669 Ач Rвн.а = 0,023 Ом	№5:3 Q = 2,0391 Ач Rвн.а = 0,0176 Ом	№5:4 Q = 1,8479 Ач Rвн.а = 0,0219 Ом	№5:5 Q = 1,5148 Ач Rвн.а = 0,0198 Ом	№5:6 Q = 1,4851 Ач Rвн.а = 0,0209 Ом	№5:7 Q = 1,6412 Ач Rвн.а = 0,0233 Ом
№6:1 Q = 1,8184 Ач Rвн.а = 0,0225 Ом	№6:2 Q = 1,3946 Ач Rвн.а = 0,0141 Ом	№6:3 Q = 2,0589 Ач Rвн.а = 0,0245 Ом	№6:4 Q = 2,0138 Ач Rвн.а = 0,0208 Ом	№6:5 Q = 1,4198 Ач Rвн.а = 0,0152 Ом	№6:6 Q = 2,0052 Ач Rвн.а = 0,0244 Ом	№6:7 Q = 1,267 Ач Rвн.а = 0,0187 Ом
№7:1 Q = 1,9101 Ач Rвн.а = 0,0227 Ом	№7:2 Q = 1,8562 Ач Rвн.а = 0,0238 Ом	№7:3 Q = 2,07 Ач Rвн.а = 0,0202 Ом	№7:4 Q = 2,0199 Ач Rвн.а = 0,0154 Ом	№7:5 Q = 1,7574 Ач Rвн.а = 0,0167 Ом	№7:6 Q = 1,9237 Ач Rвн.а = 0,025 Ом	№7:7 Q = 1,9205 Ач Rвн.а = 0,0192 Ом
№8:1 Q = 1,6227 Ач Rвн.а = 0,0204 Ом	№8:2 Q = 1,7956 Ач Rвн.а = 0,0175 Ом	№8:3 Q = 1,6295 Ач Rвн.а = 0,018 Ом	№8:4 Q = 1,5236 Ач Rвн.а = 0,0248 Ом	№8:5 Q = 1,6742 Ач Rвн.а = 0,0209 Ом	№8:6 Q = 1,4267 Ач Rвн.а = 0,0219 Ом	№8:7 Q = 1,5689 Ач Rвн.а = 0,0241 Ом
Таблицы с параметрами аккумуляторов, выбранных для сборки в блоки						
Обозначения: - Q – ёмкость аккумулятора; - Rвн.а – внутреннее активное сопротивление аккумулятора; - Qср – суммарная ёмкость блока аккумуляторов; - τ – постоянная времени аккумулятора.						
Блок 1 Qср = 8,461	№8:3 Q = 1,6295 Ач Rвн.а = 0,018 Ом τ = 0,0293 АчОм	№2:6 Q = 1,5944 Ач Rвн.а = 0,0205 Ом τ = 0,0327 АчОм	№4:1 Q = 1,6845 Ач Rвн.а = 0,0166 Ом τ = 0,028 АчОм	№7:5 Q = 1,7574 Ач Rвн.а = 0,0167 Ом τ = 0,0293 АчОм	№8:2 Q = 1,7956 Ач Rвн.а = 0,0175 Ом τ = 0,0314 АчОм	
Блок 2 Qср = 8,403	№8:1 Q = 1,6227 Ач Rвн.а = 0,0204 Ом τ = 0,0331 АчОм	№8:7 Q = 1,5689 Ач Rвн.а = 0,0241 Ом τ = 0,0378 АчОм	№4:3 Q = 1,6924 Ач Rвн.а = 0,0197 Ом τ = 0,0333 АчОм	№8:5 Q = 1,6742 Ач Rвн.а = 0,0209 Ом τ = 0,035 АчОм	№1:3 Q = 1,8445 Ач Rвн.а = 0,0187 Ом τ = 0,0345 АчОм	
Блок 3 Qср = 8,52	№5:7 Q = 1,6412 Ач Rвн.а = 0,0233 Ом τ = 0,0382 АчОм	№1:6 Q = 1,6741 Ач Rвн.а = 0,0231 Ом τ = 0,0387 АчОм	№2:2 Q = 1,7631 Ач Rвн.а = 0,0215 Ом τ = 0,0379 АчОм	№3:4 Q = 1,6749 Ач Rвн.а = 0,0248 Ом τ = 0,0415 АчОм	№5:2 Q = 1,7669 Ач Rвн.а = 0,023 Ом τ = 0,0406 АчОм	

Рис. 1. - Таблица МА с параметрами аккумуляторов и три таблицы с параметрами аккумуляторов, выбранных для сборки в блоки

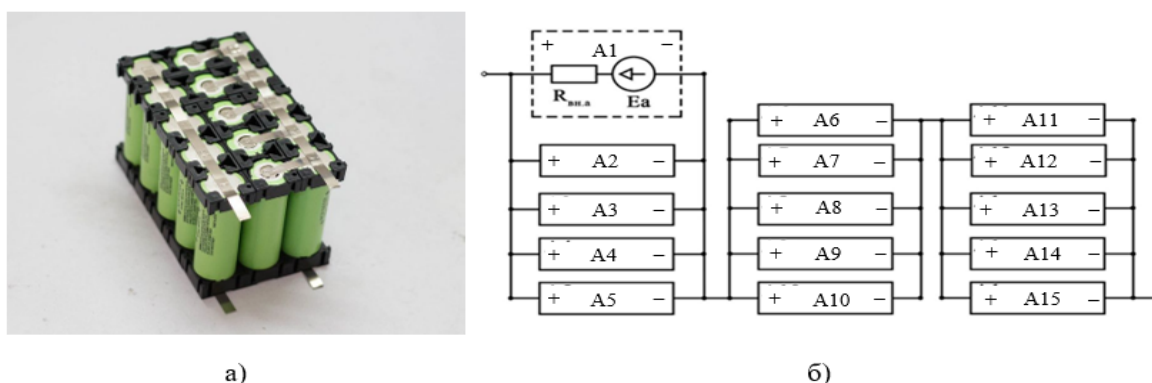


Рис. 2. - Примерный вид АБ типа 3S5P (а) и электрическая схема соединения аккумуляторов в этой АБ (б)

В современных условиях применение ПРМ представляется более целесообразным, поскольку это не только повышает производительность труда, но и исключает ошибки в подготовке сборочного комплекта аккумуляторов за счёт устранения «человеческого фактора».

В статье рассмотрено решение актуальной задачи по разработке программно-аппаратного комплекса (ПАК) по перемещению аккумуляторов из кассеты с МА в СК, выполненного на основе ПРМ.

Основным компонентом аппаратной части комплекса является ПРМ на основе шарнирно-сочленённого манипулятора, который оснащён двухпальцевым захватом [2, 3]. Использование данного захвата, оснащённого механизмом поворота на 180 градусов, обеспечивает возможность «переворота» аккумуляторов каждого чётного блока, что необходимо для минимизации длины соединительных проводников. Кроме того, в состав ПРМ введена видеокамера (ВК), которая позволяет осуществить точную подводку захвата манипулятора к аккумулятору в МА или ячейке в СК, т.е. осуществить адаптацию ПРМ к возможному смещению кассеты с МА или СК, а также учесть износ узлов и люфты механизмов ПРМ. Видеокамера используется и для контроля номера ячейки, из которой извлекается и в которую помещается аккумулятор. Внешний вид шарнирно-сочленённого

манипулятора с двухпальцевым захватом и ВК, расположенной с нижней стороны ПРМ рядом с захватом, приведён на рис. 3.



Рис. 3. - Внешний вид ПРМ с двухпальцевым захватом (а) установка аккумулятора в СК (б)

Кроме ПРМ, в состав аппаратной части комплекса входит кассета для размещения МА и СК. Разрабатываемый ПАК предназначен для работы с аккумуляторами цилиндрического типа, которые имеют различные геометрические размеры от диаметра в 10 мм и длины в 18 мм, и до диаметра в 32 мм и длины в 70 мм. Например, широко применяемый аккумулятор 18650 имеет диаметр 18 мм и длину – 65 мм. Под каждый размер аккумуляторов, из которых планируется собирать АБ, изготавливается кассета для размещения МА и СК. Вид сверху ПАК и СК в разрезе приведены на рис. 4. В его состав входят кассета МА, СК, блок управления (БУ) и ПРМ, оснащённый ВК. Выбор формы кассет в виде «амфитеатра» обусловлен более удобным подводом двухпальцевого захвата к аккумулятору или захвата с аккумулятором к ячейке СК. Кроме того, улучшаются условия считывания номера ячейки и положения аккумулятора в ней. На рис. 4,а координаты ячеек обозначены: c – угол относительно начального положения; d – радиус от оси поворота ПРМ; h – высота яруса кассеты.

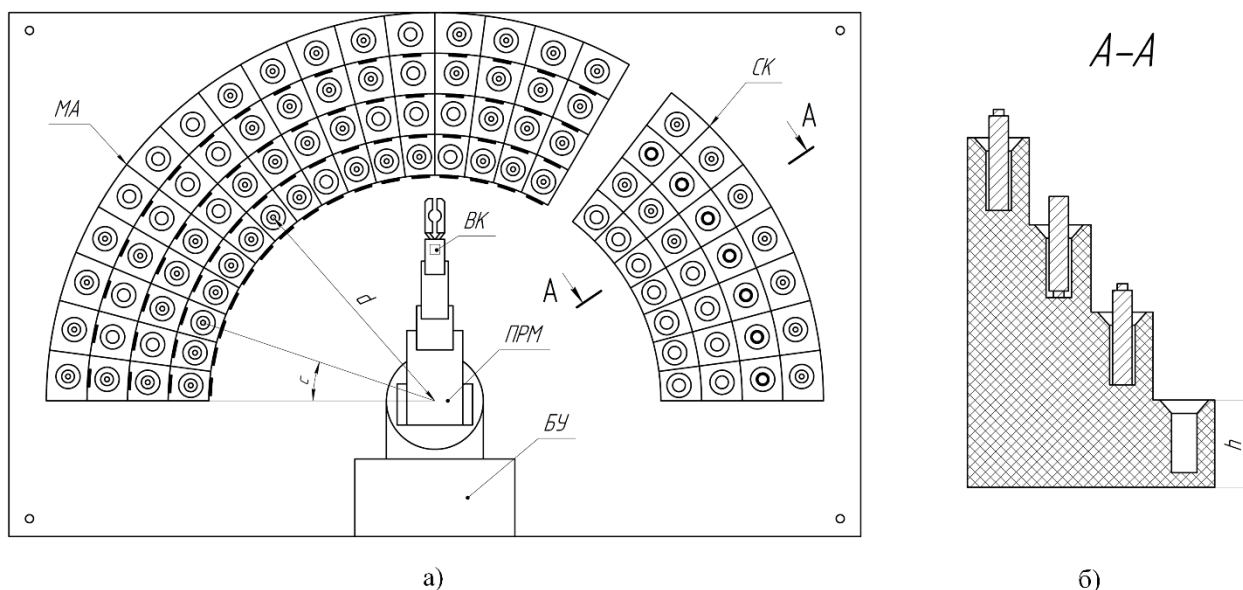


Рис. 4. - Вид сверху на программно-аппаратный комплекс (а)
и СК в разрезе (б)

Программная часть комплекса реализована в соответствии с блок-схемой алгоритма работы ПРМ по взятию аккумуляторов из ячеек кассеты с МА и перемещению их в ячейки СК. Блок-схема алгоритма работы ПРМ приведена на рис. 5.

Рассмотрим действия, выполняемые в основных блоках:

Блок 1 – Ввод данных. Осуществляется ввод информации о том, из каких ячеек кассеты с МА должны быть взяты аккумуляторы, и в какую из ячеек СК должен быть установлен каждый из взятых аккумуляторов. Кроме того вводится информация о геометрических размерах аккумуляторов и координатах ячеек кассеты с МА и СК.

Блок 3 – Установка начальных значений переменных i и j . Переменная i соответствует номеру аккумулятора, с которым работает ПРМ. Инкрементирование данной переменной происходит только после успешной установки аккумулятора в целевую ячейку СК. Переменная j является логической и может принимать два значения: 0 и 1. Значение 1 соответствует неудаче при попытке взять аккумулятор. Значение становится равным 0

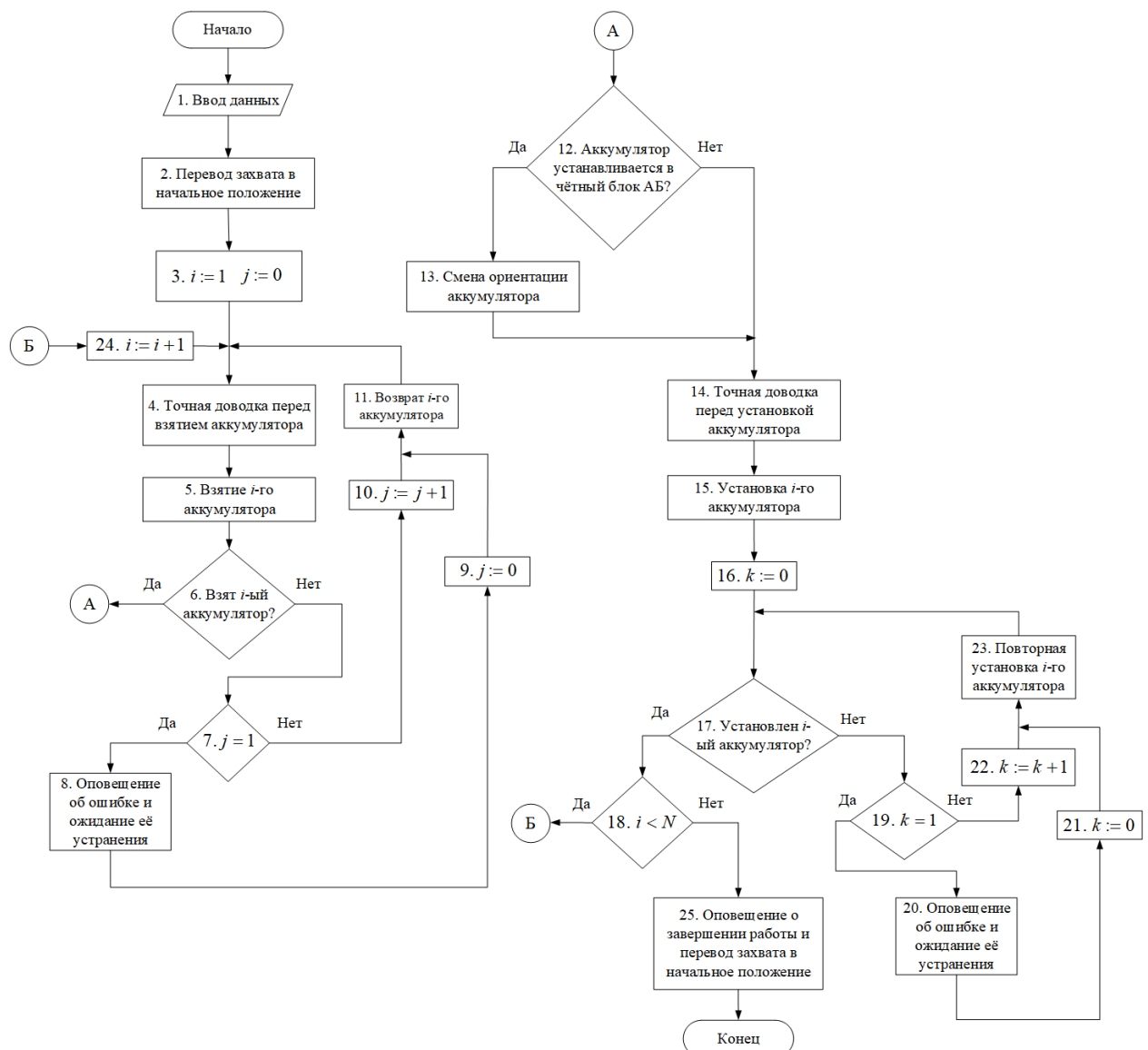


Рис. 5. – Блок-схема алгоритма работы ПРМ

после устранения соответствующей ошибки оператором.

Блоки 4, 14 – Точная доводка захвата перед взятием или установкой аккумулятора. Осуществление автоматического, точного позиционирования ПРМ по видеоизображению для взятия или установки аккумулятора захватом.

Блок 5, 15 – Взятие или установка i -го аккумулятора. Осуществление автоматического управления ПРМ для взятия или установки i -го аккумулятора в целевую ячейку СК с координатами s , d , h , где s – угол

между центром ПРМ и центром целевой ячейки, d – расстояние от центра ПРМ до центра целевой ячейки, h – высота уровня выреза ячейки от основания ПРМ.

Блок 6 – Проверка взятия i -го аккумулятора. По видеоизображению и датчику усилия выполняется проверка захвата ПРМ на успех взятия i -го аккумулятора.

Блоки 8, 20 – Оповещение об ошибке и ожидание её устранения. Обрабатывается случай, при котором ПРМ не удаётся взять аккумулятор из МА. Для устранения ошибки ПАК вызывает оператора.

Блок 12 – Проверка чётности блока, в который устанавливается i -й аккумулятор. Блок считается четным, если его номер N_6 – чётное число.

Блок 13 – Смена ориентации аккумулятора. Перемещение захвата ПРМ относительно кассеты МА на расстояние, достаточное для поворота аккумулятора на 180° вокруг его поперечной оси и поворот аккумулятора.

Блок 16 – Значение по умолчанию для переменной k . Переменная k является логической и может принимать два значения 0 и 1. Значение 1 соответствует неудаче при попытке установить аккумулятор. Значение становится равным 0 после устранения соответствующей ошибки оператором.

Блок 17 – Проверка установки i -го аккумулятора. Выполняется автоматическая проверка видеоизображения ячейки в СК на успех установки i -го аккумулятора.

Блок 18 – Проверка выполнения условия окончания алгоритма: номер последнего установленного аккумулятора I равен количеству всех аккумуляторов в СК.

Блок 25 – Оповещение о завершении работы по сборке СК и перевод захвата в начальное положение с координатами c_0 , d_0 , h_0 .

Аппаратная часть комплекса реализована в виде макета приведённого на рис. 3, в котором использован ПРМ.

Программная часть соответствует алгоритму, блок-схема которого приведена на рис. 5. Она реализована на платформе .NET Framework с использованием языка программирования C# и интеграцией библиотеки ML.NET, позволяющей создать нейронную сеть класса object detection [4 - 6]. Последняя необходима для адаптивного управления ПРМ, например, для: подведения захвата по видеоизображению к нужной ячейке МА и выполнения его доводки в случае возможного смещения или наклона аккумулятора в ячейке; выполнения корректного размещения аккумулятора в СК по видеоизображению ячеек на поле видеокадра [7-10].

Испытания ПАК показали его работоспособность и адаптацию к смещению аккумуляторов в ячейках кассеты МА и смещению СК. Отладка ПАК позволила обеспечить устойчивый захват аккумуляторов и практически полностью исключить ошибки при перемещении аккумуляторов из кассеты МА в СК. Дальнейшим развитием работы может быть создание ПРМ, выполняющего работу по соединению аккумуляторов в АБ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке краевого государственного автономного учреждения «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности», в рамках проекта «Адаптивный робот – комплектовщик аккумуляторов для их соединения в батарею».

Литература

1. Самойлова А.А. Обзор топологий соединения накопителей энергии и методы их контроля // Инженерный вестник Дона, 2024, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2024/8943.

2. Rastegarpanah A., Mineo C., Contreras C. A., Aflakian A., Paragliola G., Stolkin R. Electric Vehicle Battery Disassembly Using Interfacing Toolbox for

Robotic Arms // Batteries. 2024. Vol. 10, № 5. P. 147. DOI: 10.3390/batteries10050147.

3. Булекбаева Г.Ж. Механотронные устройства сборочных роботизированных технологических комплексов в современном машиностроении // Наука через призму времени, 2023, № 3 (72), С. 123–130.

4. Magdin M., Benc J., Koprda Š., Balogh Z., Tuček D. Comparison of Multilayer Neural Network Models in Terms of Success of Classifications Based on EmguCV, ML.NET and Tensorflow.Net // Applied Sciences. 2022. Vol. 12, № 8. P. 3730.

5. Небаба С.Г., Марков Н.Г. Сверточные нейронные сети семейства YOLO для мобильных систем компьютерного зрения // Компьютерные исследования и моделирование. 2024, Т. 16, № 3, С. 615–631.

6. Филичкин С.А., Вологдин С.В. Сравнение эффективности алгоритмов YOLOv5 и YOLOv8 для обнаружения средств индивидуальной защиты человека // Интеллектуальные системы в производстве. 2023, Т. 21, № 3, С. 124–131.

7. Лван Мо Аунг, Щагин А.В., Ла Мин Маун Маун, Аунг Мьо Наинг. Адаптивное ПИД-управление с компенсацией возмущений для траекторного следования в роботизированных манипуляторах // Инженерный вестник Дона, 2025, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2025/9992.

8. Смирнов В.А. Динамика роботизированных манипуляторов. СПб: Политехника, 2015. 320 с.

9. Lee H., Kim J. A Novel Control Strategy for Mobile Robots // Robotics and Autonomous Systems. 2018. Vol. 102. Pp. 45–53.

10. Притыкин Ф.Н., Осадчий А.Ю. Способ кодирования информации при задании геометрических моделей исполнительных механизмов роботов // Инженерный вестник Дона, 2014, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2363.

References

1. Samoylova A.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2024, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2024/8943.
2. Rastegarpanah A., Mineo C., Contreras C.A., Aflakian A., Paragliola G., Stolkin R. Batteries. 2024. Vol. 10, № 5. P. 147.
3. Bulekbaeva G.Zh. Nauka cherez prizmu vremeni, 2023, № 3 (72), PP. 123-130.
4. Magdin M., Benc J., Koprda Š., Balogh Z., Tuček D. Applied Sciences. 2022, Vol. 12, № 8, 3730 p.
5. Nebaba S.G., Markov N.G. Komp'yuternye issledovaniya i modelirovanie, 2024, Vol. 16, № 3, PP. 615-631.
6. Filichkin S.A., Vologdin S.V. Intellektual'nye sistemy v proizvodstve, 2023, Vol. 21, № 3, PP. 124-131.
7. Lvan Moe Aung, Shchagin A.V., La Min Maun Maun, Aung Myo Naing. Inzhenernyj vestnik Dona, 2025, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2025/9992.
8. Smirnov V.A. Dinamika robotizirovanny'x manipulyatorov [Dynamics of robotic manipulators]. SPb: Politehnika, 2015. 320 p.
9. Lee H., Kim J., A Novel Control Strategy for Mobile Robots, Robotics and Autonomous Systems. 2018. Vol. 102. Pp. 45-53.
10. Prity`kin, F.N., Osadchij A.Yu. Inzhenernyj vestnik Dona, 2014, № 2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2014/2363/.

Дата поступления: 24.05.2025

Дата публикации: 25.07.2025