

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ
ШОКОЛАДНЫХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КОНФЕТ**

ПЕРЕД УПАКОВКОЙ

**AN AUTOMATED SYSTEM FOR POSITIONING RECTANGULAR
CHOCOLATE CANDIES BEFORE PACKAGING**

Мравеш Н. И., студент

Поляков С. И., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

mravesh@yandex.com

Mravesh N. I., Student

Polyakov S.I., CSc (Engineering), Associate Professor

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov»

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье рассматривается автоматизация процесса упаковки шоколадных конфет с использованием современных систем управления. Обсуждаются преимущества применения программируемых логических контроллеров (ПЛК) DeltaDVP-ES2 и DVP-SV2, преобразователей частоты DeltaVFD-E и сервоприводов DeltaASD-A2, которые обеспечивают точную и синхронизированную работу упаковочной линии. Анализируются методы коррекции отклонений в позиционировании конфет, а также алгоритмы управления движением механизмов. Обращено внимание на важность системы управления, оснащённой сенсорной панелью DeltaDOP-100, для обеспечения контроля параметров в реальном времени. В результате реализации данных технологий достигается высокая производительность и надёжность упаковочного процесса, что способствует улучшению качества упаковки и снижению производственных затрат, а также увеличивает общую экономическую эффективность предприятия

Summary: This article discusses the automation of the chocolate confection packaging process using modern control systems. It examines the advantages of employing Delta DVP-ES2 and DVP-SV2 programmable logic controllers (PLCs), Delta VFD-E frequency converters, and Delta ASD-A2 servos, which ensure precise and synchronized operation of the packaging line. Methods for correcting deviations in the positioning of candies are analyzed, as well as algorithms for managing the movement of mechanisms. The importance of a control system equipped with a Delta DOP-100 touchscreen panel for real-time parameter monitoring is highlighted. As a result of implementing these technologies, high productivity and reliability of the packaging process are achieved, leading to improved packaging quality and reduced production costs, thus enhancing the overall economic efficiency of the enterprise

Ключевые слова: автоматизация, упаковка, шоколадные конфеты, системы управления, программируемые логические контроллеры (ПЛК), Delta DVP-ES2, Delta DVP-SV2, преобразователи частоты, Delta VFD-E, сервоприводы, Delta ASD-A2, коррекция отклонений, алгоритмы управления, сенсорная панель, Delta DOP-100, производительность, надёжность, экономическая эффективность

Keywords: automation, packaging, chocolate confections, control systems, programmable logic controllers (PLCs), Delta DVP-ES2, Delta DVP-SV2, frequency converters, Delta VFD-E, servos, Delta ASD-A2, deviation correction, control algorithms, touchscreen panel, Delta DOP-100, productivity, reliability, economic efficiency

На участке автоматической упаковки конфет с машиной типа «флоупак» используется следующее оборудование. На рисунке 1 конвейер подачи перемещает конфеты с основной линии на вход упаковочной машины. Конвейер может иметь разные скорости и механизмы для направления продукции. Движение конвейера синхронизируется с циклом отливки и регулируется прерывателем.

Сформированные конфеты поступают на приёмный конвейер, состоящий из трёх участков, каждый из которых приводится в движение отдельным двигателем с индивидуальным преобразователем частоты VFD-E. Все преобразователи работают синхронно с циклом отливки, обеспечивая равномерную подачу изделий на упаковку [1].



Рисунок 1 – Приёмный транспортёр, состоящий из трёх сегментов

Выравнивающий модуль (рисунок 2) выравнивает конфеты по ширине и направлению перед упаковкой, обеспечивая равномерное распределение продукции для корректной упаковки. На следующем этапе конфеты укладываются в линию с помощью нескольких транспортёров, установленных зигзагообразно. Их синхронной работой управляют два преобразователя частоты VFD-E. Важным шагом является распределение конфет с одинаковыми интервалами, иначе в пакеты попадёт неодинаковое количество изделий. Это выполняет выравнивающий укладчик, который контролируется пятью преобразователями частоты VFD-E.



Рисунок 2 – Зигзагообразный (слева) и выравнивающий (справа) укладчики

Одновременно выравнивающий укладчик служит буфером, обеспечивая непрерывное поступление конфет на упаковочную линию, что устраняет колебания количества конфет с приёмного конвейера. Это предотвращает ситуацию, когда упаковочный пакет оказывается пустым или переполненным.

На некоторых упаковочных линиях могут использоваться механизмы группировки, которые временно собирают несколько конфет для упаковки в один пакет. В частном случае предполагается, что в упаковку помещается одна конфета.

С помощью датчиков контролируется расстояние между движущимися конфетами и ячейками лопаточного конвейера. Подающий транспортёр, рабо-

тающий от сервоприводов DeltaASD-A2, регулирует свою скорость для точного размещения конфет между лопатками (рисунок 3).

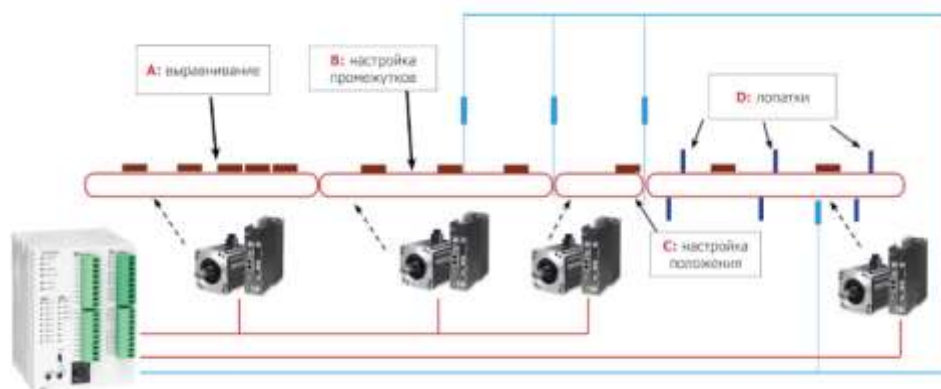


Рисунок 3 – Блок-схема подающего узла упаковочной линии

Конвейер «А» служит накопителем, где конфеты располагаются вплотную друг к другу. Регулирующий конвейер «В», имея разную скорость, разделяет поток конфет на отрезки с одной конфетой на каждом, сохраняя расстояние между конфетами равным расстоянию между лопатками на лопаточном конвейере. Обычно конвейер «В» работает синхронно с лопаточным конвейером. Датчики определяют расположение конфет и лопаток, после чего рассчитывается необходимое ускорение или замедление ленты для коррекции положения конфет. Более высокая скорость конвейера позволяет быстрее производить корректировку, но слишком высокая скорость может привести к нестабильной работе из-за проскальзывания.

Следом за конвейером «В» расположен регулирующий конвейер «С», который обычно движется с той же скоростью, что и лопаточный конвейер. Его задача аналогична задаче конвейера «В», но длина ленты соответствует шагу между лопатками, и на нем должна находиться только одна конфета во время разгону или торможения. Главная сложность — проскальзывание конфет на высокой скорости, что требует перенастройки. Для снижения риска проскальзывания ленты «А», «В» и «С» делают перфорированными, что увеличивает трение между конфетами и лентой. Чтобы предотвратить проскальзывание ленты на шкивах, необходимо обеспечить правильное натяжение, а поверхности конвейеров должны быть на одном уровне. В процессе настройки важно также точно выставить датчики (рисунок 4).

Рекомендации по установке и регулировке датчиков включают следующие шаги:

- Датчик В размещается в месте стыка конвейеров «А» и «В».

- Датчики А и С устанавливаются на расстоянии S от датчика В с обеих сторон, где S — шаг лопаточного конвейера.
- Датчик D устанавливается на расстоянии, кратном S , от датчика В.

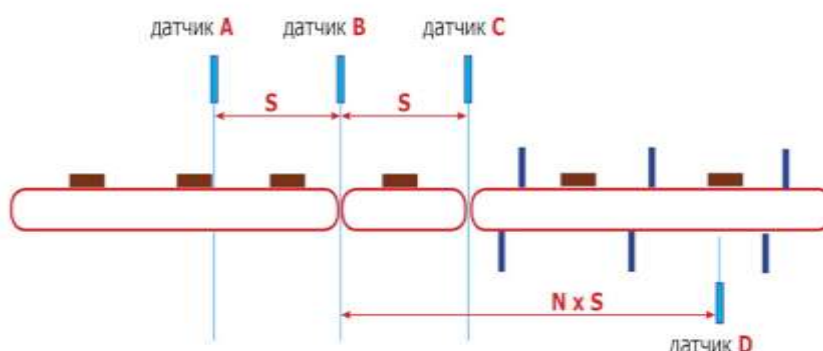


Рисунок 4 – Схема установки датчиков подающего узла

Упаковочная машина (рисунок 5) типа «флоупак»: это устройство оборачивает конфеты упаковочной плёнкой, формируя её вокруг продукции и запечатывая для создания индивидуальных упаковок. Лопаточный конвейер подаёт конфеты по одной к месту упаковки. Параллельно подаётся упаковочная плёнка, разрезаемая узлом резки на отдельные пакеты. Нагревательный элемент узла упаковки обеспечивает горизонтальное запечатывание, а ролик вертикальной сварки формирует вертикальный шов и продвигает плёнку.

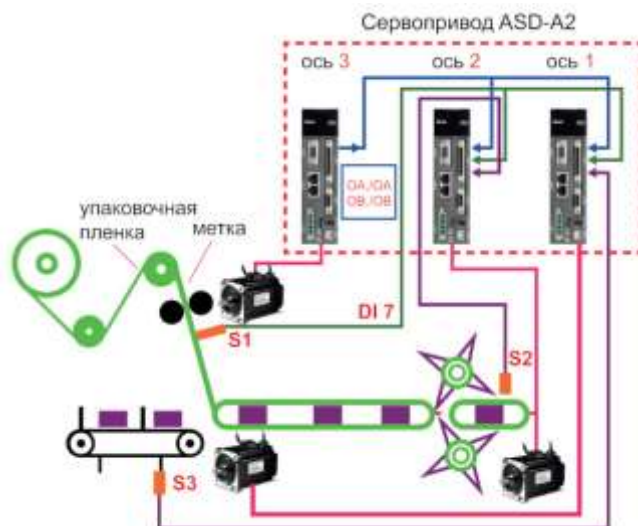


Рисунок 5 – Блок-схема узла упаковки конфет

Механизм подачи плёнки: это устройство подаёт упаковочную плёнку с рулона на упаковочную машину, обеспечивая защиту конфет. Движение всех механизмов в узле упаковки контролируется сервоприводами DeltaASD-A2. Привод подачи плёнки (ось 3 на схеме) является основной осью узла (мастер-ось). Привод ножа (ось 2) синхронизирован с мастер-осью через функцию «электронного кулачка» и работает в режиме позиционирования. При получении

нии сигнала от датчика цветной метки S1 активируется этот режим, и ASD-A2 начинает выполнять профиль «электронного кулачка», обеспечивая точное позиционирование ножа.

Привод подачи конфет (ось 1) синхронизирован с мастер-осью через функцию «электронного кулачка». Для автоматической настройки положения конфет на конвейере используется синхронизация с цветными метками на плёнке. Далее рассмотрим основные принципы расчёта работы подающего транспортёра, способы коррекции отклонений в его положении и алгоритм настройки ключевых параметров системы управления. Также будут описаны распространённые проблемы, возникающие при настройке или работе линии, и методы их решения.

Рассмотрим алгоритм работы подающего (лопаточного) транспортёра. Поскольку принципы настройки подающих транспортёров аналогичны для одной и нескольких конфет, рассмотрим пример с несколькими конфетами (рисунок 6).

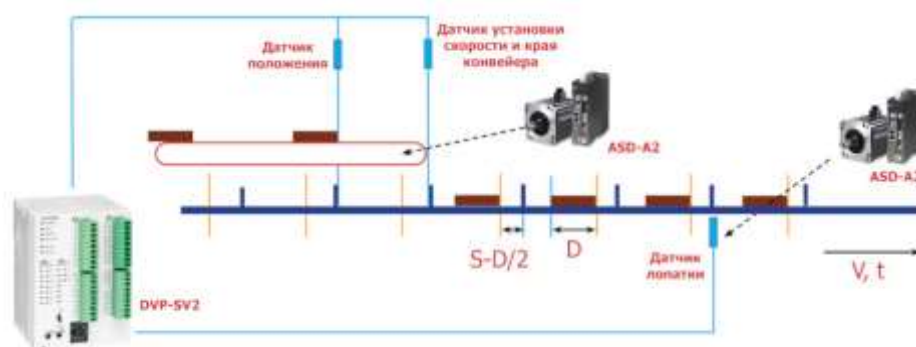


Рисунок 6 – Блок-схема управления подающим (лопаточным) транспортёром

Сервоприводы лопаточного транспортёра и подачи упаковочной плёнки работают синхронно. Предполагается, что они движутся со скоростью V , расстояние между лопатками составляет S , а время упаковки одной конфеты - t . За время t конвейер проходит расстояние S при скорости V . Поскольку шаг цепи одинаков, рассматривается бесконечная длина цепи.

Для точного размещения конфеты (длиной D) между лопатками необходимо контролировать расстояние от края конфеты до ближайшей лопатки. Это расстояние рассчитывается как $(S-D)/2$ (оранжевая линия на рисунке 7) и используется как базовая точка для управляющих команд сервоприводов.

Когда лопатка проходит перед датчиком, контроллер получает её текущее положение (SCHAIN). При прохождении конфеты мимо датчика контроллер фиксирует её положение (SCANDY).

При запуске упаковочной линии лопатка пересекает датчик раньше, чем конфета, так что расстояние между ними составляет $\Delta S = SCANDY - SCHAIN$, где ΔS варьируется от 0 до S . На рисунке 7 лопатка изображена голубой линией, а край конфеты, обозначенный оранжевой линией, расположен на расстоянии $(S-D)/2$ позади лопатки.

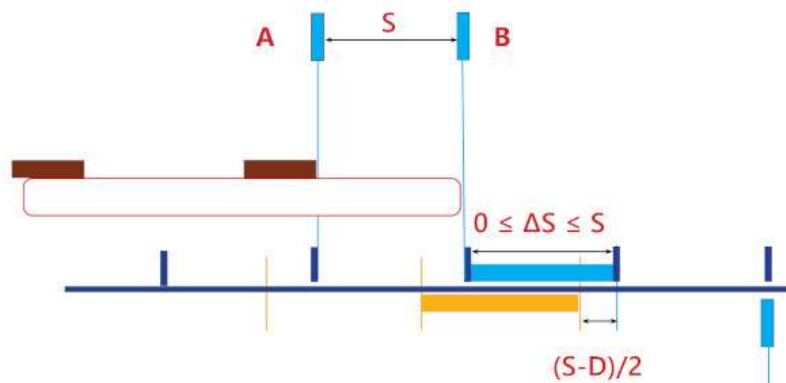


Рисунок 7 – Данные, необходимые для расчета и настройки подающего транспортера

Если датчик А не фиксирует конфету, это указывает на синхронное движение конфеты и лопатки со скоростью V . Датчик А служит для выявления отклонений реального положения конфеты. Когда происходит отклонение (датчик А обнаруживает конфету), система управления генерирует команду для ускорения в точке А с целью «поймать» базовую точку или замедлить до следующей.

Ускорение или замедление производится с выбранной оператором скоростью в заранее определённом диапазоне. Для полной синхронизации движения конфеты с лопаточным конвейером конфета должна достичь датчика В одновременно с лопаткой. Алгоритм коррекции представлен на рисунке 8.

Рассмотрим возможные ситуации, возникающие при несоответствии в движении конфеты и ленточного транспортёра, а также методы расчёта корректирующих воздействий.

Ситуация 1. Если базовая точка находится в красной зоне (рисунок 9), это означает, что выполняется условие $-(S-D)/2 \leq \Delta S^* \leq 0$, и интервал лопаточного транспортёра составляет $0 \leq \Delta S \leq (S-D)/2$. В этом случае для совпадения положения конфеты с базовой точкой необходимо замедлить её движение. Предположим, что конфета движется от датчика А со скоростью V и затем останавливается под датчиком В. Если время движения составляет t , то: $S = V \times t$.

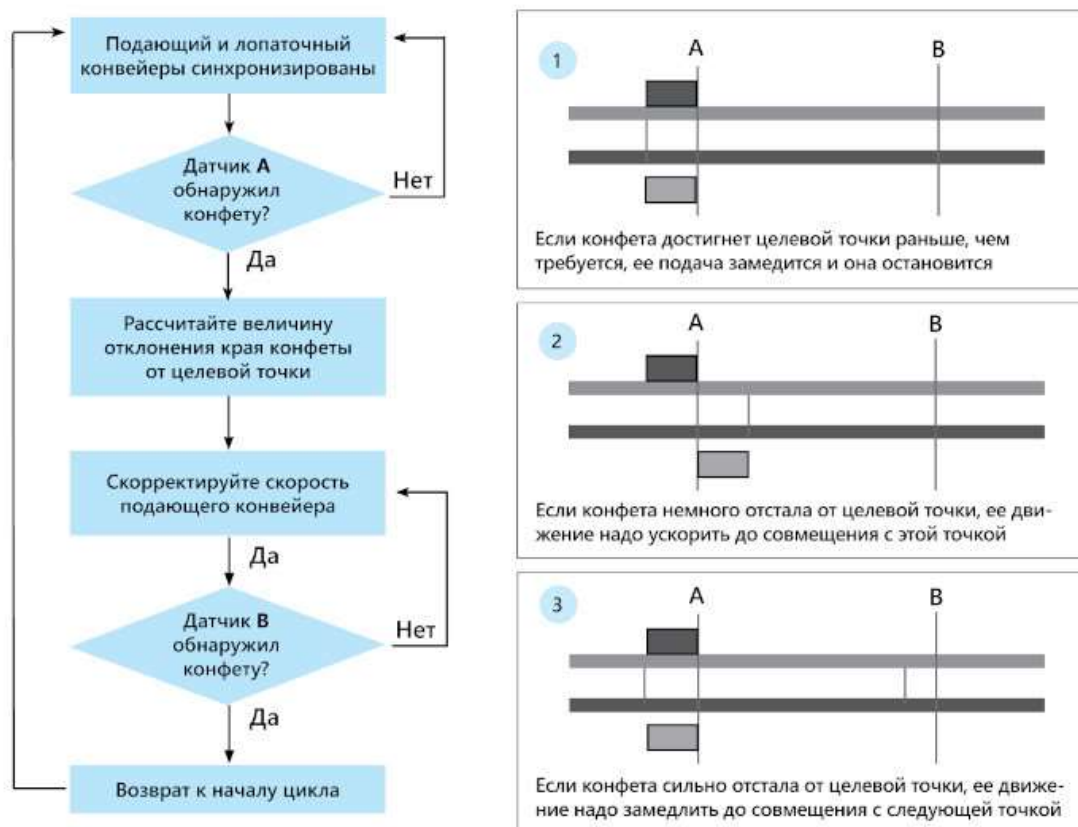


Рисунок 8 - Алгоритм коррекции отклонений по положению

Для достижения базовой точки конфетой со скоростью V потребуется время t . Диапазон регулирования будет следующим:

$$S^* = S + \frac{(S-D)}{2} - \Delta S = V \times t \quad (1)$$

С учётом этого уравнения можно рассчитать требуемую скорость V^* .

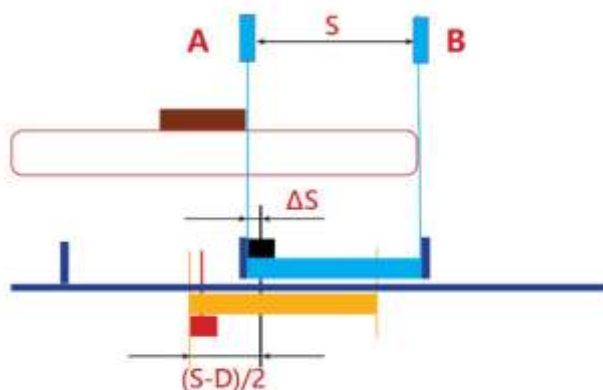


Рисунок 9 – Схема расчёта корректирующего воздействия для ситуации 1

Ситуация 2. Чтобы предотвратить ситуацию, изображённую на рисунке 10 (возникает при слишком высокой скорости движения лопаточного транспортера), нужно установить предел диапазона регулирования на расстоянии $S/2$ от датчика А.

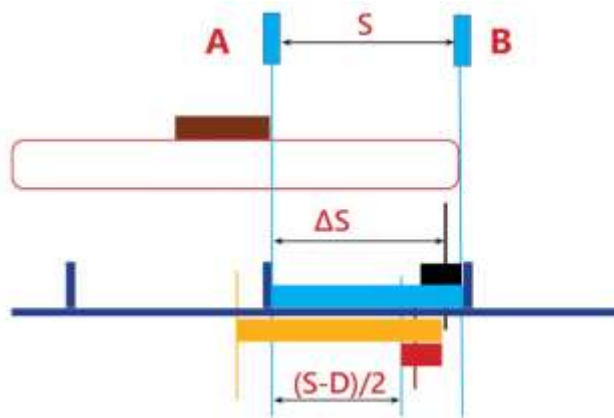


Рисунок 10 – Схема расчета корректирующего воздействия для ситуации 3

Если базовая точка попадает в красную зону, выполняется условие:

$$0 \leq \Delta S^* \leq S/2 \quad (2)$$

В этом случае диапазон регулирования для лопаточного транспортера составит

$$\frac{(S-D)}{2} \leq \Delta S \leq \frac{(2S-D)}{2} \quad (3)$$

Чтобы привести конфету в соответствие с базовой точкой, требуется ускорить её движение. Если конфета движется от датчика A со скоростью V и останавливается под датчиком B, а время движения составляет t, то:

$$S = V \times t \quad (4)$$

Базовая точка будет достигнута за время t при скорости V. Диапазон регулирования в этом случае выражается как:

$$\Delta S^* = S - (\Delta S - \frac{(S-D)}{2}) = V \times t \quad (5)$$

С учётом этого уравнения можно рассчитать требуемую скорость V^* .

Ситуация 3. Если одновременно фиксируются две конфеты (в момент T), система генерирует команду для ускорения. Положение второй конфеты будет иметь более значительное отклонение. В случае регулируемого транспортера возникает необходимость замедлить движение конфет, когда обе конфеты, связанные одной базовой точкой, попадают в одну ячейку лопаточного транспортера. Если базовая точка попадает в красную зону (рисунок 10), выполняется условие:

$$\frac{S}{2} \leq \Delta S^* \leq S - \frac{(S-D)}{2} \quad (6)$$

Диапазон регулирования для лопаточного транспортера составит:

$$\frac{(2S-D)}{2} \leq \Delta S \leq S \quad (7)$$

Если конфета движется от датчика A со скоростью V и затем останавливается под датчиком B, а время её движения равно t, то: $S = V \times t$.

Базовая точка будет достигнута за время T + t при скорости V. Диапазон регулирования можно выразить как:

$$S^{\wedge *} = 2S - (\Delta S - \frac{(S-D)}{2}) = V \times t \quad (8)$$

С учётом этого уравнения можно рассчитать требуемую скорость $V^{\wedge *}$.

Автоматизация технологического процесса упаковки шоколадных конфет с использованием современных систем управления значительно повышает эффективность производства. Применение ПЛК DeltaDVP-ES2 и DVP-SV2, преобразователей частоты DeltaVFD-E и сервоприводов DeltaASD-A2 обеспечивает точную и синхронизированную работу всех механизмов упаковочной линии [2-4]. Эти устройства гарантируют высокую производительность и надёжность, минимизируя человеческий фактор и исключая ошибки в упаковке. Система управления с возможностью точной настройки и контроля параметров в реальном времени через сенсорную панель DeltaDOP-100 позволяет оперативно реагировать на любые отклонения, что важно для стабильности производственного процесса. Современные технологии, такие как «электронный кулачок» и синхронизация по мастер-оси, обеспечивают высокую точность и надёжность работы линии. В результате автоматизация улучшает качество упаковки и снижает затраты, увеличивая общую экономическую эффективность предприятия.

Список литературы

1. Поляков, С.И. Автоматика и автоматизация производственных процессов : учеб. пособие / С.И. Поляков; Фед. агентство по образованию, ГОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2008. – 372 с.
2. Delta Electronics, Inc. Delta DVP-ES2 Series PLC User Manual.–URL: https://www.delta-electronics.info/content/files/DVP_ES2_manual_rus.pdf (дата обращения: 23.03.2025).
3. Delta Electronics, Inc. Delta DVP-SV2 Series PLC User Manual. –URL: https://www.intechnics.ru/download/DVP-ES&EX_manual_rus.pdf (дата обращения: 22.03.2025).
4. Delta Electronics, Inc. Delta VFD-E Series Frequency converters User Manual. –URL: https://ies-drives.ru/download/Delta/VFD-E_manual_rus.pdf (дата обращения: 22.03.2025).

References

1. Polyakov, S.I. Automation and automation of production processes : textbook. manual / S.I. Polyakov; Federal Agency for Education, State Educational Institution of Higher Professional Education "VGLTA". –Voronezh, 2008. – 372 p.

2. Delta Electronics, Inc. Delta DVP-ES2 Series PLC User Manual. - - URL: https://www.delta-electronics.info/content/files/DVP_ES2_manual_rus.pdf (accessed: 03/23/2025).

3. Delta Electronics, Inc. Delta DVP-SV2 Series PLC User Manual. - - URL: https://www.intechnics.ru/download/DVP-ES&EX_manual_rus.pdf (accessed: 03/22/2025).

4. Delta Electronics, Inc. Delta VFD-E Series Frequency converters User Manual. – URL: https://ies-drives.ru/download/Delta/VFD-E_manual_rus.pdf (accessed: 03/22/2025).