

УДК 681.5

## МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОВОРОТОМ БАШНИ ПЛАВКРАНА ПРОЕКТА 1451 СПК-325

Сентяков Сергей Александрович<sup>1</sup> студент

e-mail: [seregasyentykov@gmail.com](mailto:seregasyentykov@gmail.com).

Кулешов Павел Валерьевич<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доцент отделения высшего образования, доцент кафедры Информационных технологий и автоматизированных систем

e-mail: [pvkuleshov123@gmail.com](mailto:pvkuleshov123@gmail.com).

<sup>1</sup> Пермский филиал ФГБОУ ВО «ВГУВТ», Пермь, Россия

<sup>2</sup> Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

**Аннотация.** Рассматривается вопрос автоматизации СПК-325 на базе программируемого логического контроллера. Предложена замена устаревшей релейно-контактной системы управления на современную микропроцессорную платформу. Разработана архитектура системы, включающая ПЛК, модули ввода/вывода и сенсорную панель оператора. Применение ПЛК позволяет повысить точность испытаний и обеспечить автоматическое протоколирование результатов.

**Ключевые слова:** Система управления, ПЛК, выбор оборудования, функциональная схема.

## MODERNIZATION OF THE TURNING CONTROL SYSTEM OF THE TOWER OF THE FLOATING CRANE PROJECT 1451 SPK-325

Sergei A. Sentiakov<sup>1</sup>, Student

e-mail: [seregasyentykov@gmail.com](mailto:seregasyentykov@gmail.com)

Pavel V. Kuleshov<sup>2</sup>, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Higher Education, Perm Branch of the Volga State University of Water Transport

e-mail: [pvkuleshov123@gmail.com](mailto:pvkuleshov123@gmail.com)

<sup>1</sup> Perm Branch of the FSBEI of Higher Education «Volga State University of Water Transport», Perm, Russia

<sup>2</sup> Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

**Abstract.** The issue of automating the SPK-325 test bench based on a programmable logic controller is considered. The replacement of the outdated relay-contact control system with a modern microprocessor platform is proposed. The system architecture, including a PLC, input/output modules, and an operator touch panel, has been developed. The use of a PLC allows for increased testing accuracy and ensures automatic recording of results.

**Keywords:** Control system, PLC, equipment selection, functional diagram.

## **Введение**

Для речного флота проблема износа и восстановления оборудования стоит особенно остро. Средний возраст кранов зачастую превышает 40–50 лет. Система управления на таких сооружениях представляют собой классическую релейно–контактную систему автоматики. Эксплуатация таких систем сопряжена с рядом проблем: залипание контактов, сложность поиска неисправности и дефицит запчастей.

Актуальность темы обусловлена необходимостью замены морально и физически устаревших систем управления на современные цифровые решения.

Целью данной работы является модернизация системы управления механизмом поворота башни крана проекта 1451 СПК-325 путем замены устаревшей релейной автоматики на современный программируемый логический контроллер. В рамках работы рассматриваются вопросы анализа существующей системы, выбора элементной базы и оценки эффективности предлагаемых решений.

Объект исследования: электроснабжения системы поворота башни

Предмет исследования: электроснабжения механизма поворота башни крана

Цель исследования: обосновать модернизацию систем управления.

Задачи исследования:

1. Анализ недостатков и преимуществ;
2. Выбор элементной базы.

## **Анализ существующей системы**

Плавкран проекта 1451 СПК-325 представляет собой полноповоротное судно с электрической схемой управления. Механизм поворота башни включает в себя электродвигатели, редукторы и систему управления, которая в исходном состоянии базируется на релейно-контакторных станциях

Недостатки системы управления на базе релейно-контакторной группы:

- 1) Низкая надежность и износ: Электромеханические реле имеют ограниченный ресурс срабатываний. Со временем происходит окисление контактов, механический износ, что приводит к отказам в самый напряженный момент работы;
- 2) Сложность диагностики: при возникновении неисправности поиск причины требует проверки цепей и визуального осмотра большого количества контактов.
- 3) Жесткая логика: Изменение алгоритма работы требует внесения изменений в схемотехническое решение системы управления.

Современные тенденции развития подъемно-транспортного машиностроения диктуют необходимость перехода к цифровым системам управления на базе программируемых логических контроллеров (ПЛК). Применение ПЛК позволит не только повысить надежность и ремонтпригодность оборудования, но и реализовать сложные алгоритмы управления, такие как электронное противораскачивание груза, точное позиционирование и интеллектуальная защита от перегрузок.

## **Система управления на базе ПЛК**

Для решения выявленных проблем предлагается полная замена аналоговых систем управления на цифровую централизованную систему управления. Основой новой системы станет промышленный ПЛК, обеспечивающий высокую гибкость в создании цепей управления.

В состав данной системы должны входить:

- 1) Программируемый логический контроллер
  - 2) Преобразователь частоты для управления асинхронными двигателями поворота.
- Частотное регулирование позволит реализовать энергоэффективное управление с



плавными S-образными кривыми разгона и торможения, что критически снижает динамические нагрузки

3) Сенсорная система должна включать датчики обратной связи

4) Человеко-машинный интерфейс (HMI) должен включать панель оператора для визуализации процесса, отображения диагностических сообщений и параметров работы крана (угол поворота, текущая нагрузка, режимы работы)

На основе анализа технических и экономических характеристик была составлена сравнительная таблица (таблица 1), в которой рассматриваются два контроллера: промышленный контроллер Siemens S7-1500 как представитель зарубежной техники и отечественный программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК150.

*Таблица 1. Сравнение ПЛК*

| Характеристика   | Siemens S7-1500 | ОВЕН ПЛК150      |
|------------------|-----------------|------------------|
| Быстродействие   | 60 нс/бит       | 250 мкс цикл     |
| Интерфейсы       | PROFINET        | Ethernet, RS-485 |
| Среда прогр.     | TIA Portal      | CODESYS v.2      |
| Цена             | Высокая         | Низкая           |
| Импортозамещение | Нет             | Да               |

ОВЕН ПЛК150 соответствует поставленным задачам и характеристикам. Является автономным (не требует карты памяти), встроенные часы реального времени, аккумулятор для защиты при пропадании питания, низкая цена, отечественное производство.

В рамках выбора силового оборудования для электропривода был проведен сравнительный анализ частотных преобразователей (таблица 2). Рассматривались модели ведущих зарубежных производителей (Siemens G120X и ABB ACS880) и отечественный преобразователь частоты Веспер Е4-8400

*Таблица 2. Сравнение частотных преобразователей*

| Характеристика | Siemens G120X | ABB ACS880  | Веспер Е4-8400          |
|----------------|---------------|-------------|-------------------------|
| Мощность       | 2.2 кВт       | 2.2 кВт     | 5.5 кВт                 |
| Управление     | Векторное     | Векторное   | Векторное (без датчика) |
| STO            | Есть          | Есть        | Нет данных              |
| Интерфейсы     | PROFINET      | Опционально | RS-485/Modbus           |
| Цена           | Высокая       | Высокая     | Низкая                  |

Веспер Е4-8400 обладает низкой ценой, поддерживает векторного управления, российское производство, хорошая перегрузочная способность.

Для организации человеко-машинного интерфейса (HMI) и визуализации технологического процесса был проведен анализ двух панелей оператора: зарубежной модели Siemens SIMATIC KTP700 Basic и отечественной панели ОВЕН СП307-П (таблица 3).

*Таблица 3. Выбор информационной панели*

| Характеристика | Siemens SIMATIC KTP700 Basic | ОВЕН СП307-П                  |
|----------------|------------------------------|-------------------------------|
| Дисплей        | 7" TFT, 65536 цветов         | 7" TFT, 16,7 млн цветов       |
| Управление     | Сенсор + функц. клавиши      | Только сенсор                 |
| Интерфейсы     | PROFINET, USB                | 2×RS-485, Ethernet, 2×USB     |
| Протоколы      | PROFINET                     | Modbus RTU/TCP (Master/Slave) |



|                       |              |              |
|-----------------------|--------------|--------------|
| <b>Функции</b>        | Базовые      | Расширенные  |
| <b>Цена</b>           | Высокая      | Низкая       |
| <b>Степень защиты</b> | IP65 (фронт) | IP65 (фронт) |

ОВЕН СП307-Р имеет хорошую совместимость с выбранным ПЛК, низкая цена, расширенный(богатый) функционал.

Для обеспечения обратной связи по положению рабочего органа (или вала двигателя) в системе управления были рассмотрены два типа датчиков: прецизионный абсолютный энкодер HEIDENHAIN ECN/EQN 1100 (Германия) и инкрементальный энкодер отечественного производства INNOCONT ESI-S40 (таблица 4).

Таблица 4. Сравнительная таблица датчиков положения

| Характеристика       | HEIDENHAIN ECN/EQN 1100         | INNOCONT ESI-S40      |
|----------------------|---------------------------------|-----------------------|
| <b>Тип</b>           | Абсолютный                      | Инкрементальный       |
| <b>Точность</b>      | Высочайшая ( $\pm 60$ угл. сек) | Средняя (1024 имп/об) |
| <b>Интерфейс</b>     | EnDat                           | TTL                   |
| <b>Защита IP</b>     | IP40                            | <b>IP54</b>           |
| <b>Питание / Ток</b> | 3,6–14 В, <100 мА               | 5–30 В, <60 мА        |
| <b>Цена</b>          | Очень высокая                   | Низкая                |

Устройство INNOCONT ESI-S40 значительно дешевле, лучше защищен (IP54).

### Функциональная схема системы управления

Функциональная схема системы управления отображает информационные потоки от датчиков положения и скорости вращения крана, а также сигналов состояния двигателя к программируемому логическому контроллеру. В ПЛК осуществляется обработка поступающих данных и реализация алгоритма против раскачивания (Anti-Sway), после чего формируются управляющие сигналы для преобразователя частоты. Таким образом, обеспечивается замкнутый цикл управления механизмом поворота с непрерывной коррекцией параметров движения, что повышает точность позиционирования и безопасность работы плавкрана.

Формирование управляющего сигнала в системе поворота башни крана осуществляется на основе измеряемых параметров положения и скорости вращения. Путём сравнения текущего положения с заданным формируется сигнал ошибки, который преобразуется в задание скорости вращения. Далее, на основе разности заданной и фактической скорости формируется управляющее воздействие на привод. Сигнал состояния двигателя используется для логического разрешения или блокировки управления.

Таблица 5. Входные измеряемые сигналы

| № | Параметры                          | Тип сигнала | Информация сигнала             |
|---|------------------------------------|-------------|--------------------------------|
| 1 | Сигнал положения башни             | Цифровой    | Текущий угол поворота          |
| 2 | Сигнал скорости вращения           | Аналоговый  | Скорость вращения              |
| 3 | Сигнал состояния двигателя         | Цифровой    | Состояние готовности двигателя |
| 4 | Сигнал положения органа управления | Аналоговый  | Управления системы             |



Таблица 6. Формирующие вычисляемые сигналы

| № | Параметры                             | Тип сигнала | Информация сигнала                             |
|---|---------------------------------------|-------------|------------------------------------------------|
| 1 | Сигнал ошибки по положению            | цифровой    | Погрешность положения в пространстве           |
| 2 | Сигнал ошибки по скорости             | Аналоговый  | Перерегулирование системы                      |
| 3 | Логический сигнал разрешение движения | Цифровой    | Блокировка или включения электродвигателя      |
| 4 | Ограничение скорости                  | Цифровой    | Защита оборудования и экипажа                  |
| 5 | Счетчик поворотов                     | Цифровой    | Положения в пространстве                       |
| 6 | Сигнал управления                     | Аналоговый  | Воздействие на частотный преобразователь       |
| 7 | Сигнал выбора направления поворота    | цифровой    | Вращения по часовой или против часовой стрелки |

### Архитектура системы

Функциональная схема отображает структуру системы управления механизмом поворота плавкрана с раздельным управлением направлением вращения.



Рисунок 2 – Структурная схема системы управления башни крана

Системой можно управлять двумя способами: вручную (джойстиком или пультом) или автоматически (через панель управления, где видна диагностика и состояние узлов). Все команды идут в ПЛК, который решает, в какую сторону вращать механизм. Направление задаётся двумя контакторами — один включает вращение вперёд, другой — назад. После этого питание поступает на частотный преобразователь, который отвечает за плавный разгон, торможение и регулировку скорости (по S-образной кривой). Замкнутый контур: датчик положения отслеживает реальный угол поворота и отправляет данные в ПЛК, позволяя точно останавливать механизм и уменьшать рывки груза.

### Вывод по модернизации плавкрана СПК-325

- 1) Замена релейной системы на ПЛК и частотный привод обеспечит:
- 2) Надёжность: Замена изношенных реле на промышленный контроллер увеличит срок службы крана.
- 3) Энергоэффективность: Оптимизация работы двигателей и отказ от постоянно включённых реле снизят энергопотребление.
- 4) Безопасность: Программные блокировки и режим «медленный подход» минимизируют риск аварий.
- 5) Информативность: Оператор через HMI-экран видит состояние всех узлов.

б) Производительность: Подавление раскачивания груза (ускорение цикла до 25–50%) и точная остановка сокращают время цикла.

**Список литературы:**

1. Кравченко, А. В. Электроника и микропроцессорная техника: учебник / А. В. Кравченко. — 2020. — 320 с
2. Келим, Ю. М. Электропривод и автоматизация промышленных установок / Ю. М. Келим. — 2020. — 384 с
3. Тетельбаум, И. М. Автоматизация испытаний сложных технических систем / И. М. Тетельбаум. — 2019. — 288 с
4. Андреев, Е. Б. SCADA-системы: взгляд изнутри / Е. Б. Андреев, Н. А. Куцевич, 2021. — 320 с

