



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-3-61-65>
УДК 669

Поступила 07.08.2025
Received 07.08.2025

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПА РОКА-УОКЕ В ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ И ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ВРАЩЕНИЯ ТОРСИОНА НА КАНАТНЫХ МАШИНАХ

Д. О. ИВЧЕНКО, О. А. ШТАРКИНА, В. В. ШАПОВАЛОВ, Д. Ю. СУДАС, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», Жлобин, Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: tech2.plus@bmz.gomel.by

В статье представлены программная реализация принципа Рока-уоке и внедрение системы контроля вращения торсиона на канатных машинах, позволяющие существенно снизить издержки производства, вызванные влиянием оборудования и человеческим фактором. Цель данного проекта – совершенствование программного обеспечения канатной машины, направленное на выявление скрытых дефектов (в том числе по длине металлокорда) для снижения доли технически неизбежных отходов у потребителя и несоответствующей продукции на производстве. Рассмотрены решения по усовершенствованию системы улавливания обрывов, введения дополнительных триггеров для исключения образования «короткомеров» при изготовлении металлокорда, снижения количества несоответствующей продукции (исправимой и неисправимой), вычисления и своевременного устранения сбоев в работе машины и контроля непреднамеренных ошибок операторов. Разработаны и внедрены программное обеспечение контроля и счета длины металлокорда, система контроля вращения торсиона.

Ключевые слова. Программное обеспечение, Рока-уоке, торсион, датчик обрыва, длина, контроль, человеческий фактор.

Для цитирования. Ивченко, Д. О. Применение принципа Рока-уоке в программном обеспечении и внедрение системы контроля вращения торсиона на канатных машинах / Д. О. Ивченко, О. А. Штаркина, В. В. Шаповалов, Д. Ю. Судас // Литье и металлургия. 2025. № 3. С. 61–65. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-3-61-65>.

APPLICATION OF POKA-YOKE PRINCIPLE IN SOFTWARE AND IMPLEMENTATION OF TORSION BAR ROTATION CONTROL SYSTEM ON CABLING MACHINES

D. O. IVCHENKO, O. A. SHTARKINA, V. V. SHAPOVALOV, D. Yu. SUDAS, OJSC “BSW – Management Company of “BMC” Holding”, Belarus, Zhlobin, 37, Promyshlennaya str. E-mail: tech2.plus@bmz.gomel.by

The article presents software implementation of Poka-yoke principle and introduction of torsion bar rotation control system on cabling machines, which can significantly reduce production costs caused by the influence of equipment and human error. The aim of this project is to improve software of cabling machine, allowing to identify hidden defects (including along the length of steel cord) in order to reduce share of technically unavoidable waste at the customer, and to reduce share of non-conforming products in production. The solutions for improving breakage detection system, introducing additional triggers to eliminate “short-length” during production of steel cord, reducing amount of non-conforming products (correctable and non-correctable), calculating and promptly eliminating machine failures and monitoring unintentional operator errors are considered. During the process software for monitoring and counting length of steel cord and a torsion bar rotation monitoring system were developed and implemented.

Keywords. Software, Poka-yoke, torsion bar, breakage detector, length, control, human error.

For citation. Ivchenko D. O., Shtarkina O. A., Shapovalov V. V., Sudas D. Yu. Application of Poka-yoke principle in software and implementation of torsion bar rotation control system on cabling machines. Foundry production and metallurgy, 2025, no. 3, pp. 61–65. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-3-61-65>.

Основным фактором, определяющим успех компании на рынке в условиях жесткой конкуренции, является оптимальное соотношение качества и цены продукции. При производстве дефекты могут возникать в различных областях деятельности, поэтому управление несоответствующей продукцией необходимо для успешного функционирования компаний. Современное управление несоответствиями помогает предотвратить потери, связанные с браком, неудовлетворенностью потребителей и прочими негативными последствиями [1]. Из этого складывается как имидж компании, так и ее рентабельность, конкурентоспособность. Рока-уоке (PY) – это методы и приспособления, которые помогают избежать

ошибок или вовремя выявить их в процессе производства, таким образом снизив уровень некачественной продукции или вовсе ее предотвратив. Ключевой особенностью метода управления РУ является процесс устранения потерь [2]. Термин «рока» означает случайную, непреднамеренную ошибку, «уоке» – избежание, сокращение количества ошибок [3]. Программная реализация принципа РУ и внедрение системы контроля вращения торсиона на канатных машинах могут существенно снизить издержки производства, вызванные влиянием оборудования и человеческим фактором.

Цель данной работы – снижение доли несоответствующей продукции на производстве и претензий от потребителей по различным видам дефектов.

Для достижения поставленной цели на основе принципов РУ обновлено программное обеспечение и внедрена система контроля вращения торсиона на канатных машинах типа DV3TIR.

Выделяют два вида РУ:

- предупреждающий (система предупреждения) – посылает оператору сигнал остановить машину или устранить проблему. Зависит от оператора, поэтому человеческий фактор не полностью исключен;
- контролирующий (система контроля) – останавливает оборудование в случае возникновения нарушения или блокирует продукцию. Это более предпочтительная система, поскольку она не зависит от оператора.

Внедрение системы контроля торсиона должно снизить долю несоответствующей продукции по дефекту «несоответствующее остаточное кручение на металлокорде».

Использование усовершенствованного программного обеспечения направлено на выявление скрытых дефектов по длине, уменьшение технически неизбежных отходов по причине ошибки оператора, обнаружение и изучение сбоев канатных машин, способных привести к выпуску несоответствующей продукции.

При внедрении системы контроля вращения торсиона обязательным условием было применение оборудования заводского изготовления, рассчитанного на промышленное использование в круглосуточном режиме с открытым кодом для возможности редактирования программного обеспечения в будущем в процессе оптимизации работы канатной машины. Ввиду конструктивных особенностей канатной машины (снаружи-внутри) серьезной проблемой является запитывание устройств внутри гондолы и передача сигналов с датчиков и прочей информации (количество импульсов с двух счетных датчиков, с датчиков отмота-домота, хода укладчика, частоты вращения торсиона, обрыва проволоки).

Изначально фирмой – изготовителем канатного оборудования передача питания внутри гондолы была реализована посредством щеточного узла. Быстрый износ, частая замена щеток щеточного узла и большой парк канатных машин привели к необходимости их модернизации. Было предложено заменить щеточный узел системой вращающихся трансформаторов и использовать специально разработанный под данные задачи контроллер, который выпускался только одной компанией и только для этих целей.

Вращающиеся трансформаторы имеют повышенные требования к механике машины: не должно быть сильных биений валов, зазоры между трансформаторами должны быть минимальны, также проблемным вопросом является небольшая мощность порядка 3 Вт данных трансформаторов, что крайне мало в современных условиях. Кроме того, через несколько лет эксплуатации железный сердечник, на который намотана обмотка, имеет свойство размагничиваться, что приводит к снижению мощности, которую мог обеспечить трансформатор. Исходя из расчетов, напряжение, подаваемое снаружи машины, на трансформаторы должно составлять 40 В, чтобы внутри машины получить 36 В. По факту необходимо поднимать напряжение снаружи машины до уровня 53 В для обеспечения напряжения внутри 28 В. Проблемы с уровнем напряжения или просадками питания ввиду одновременного срабатывания всех датчиков внутри гондолы приводят к потере счетных импульсов, связи через инфракрасный канал, что влечет отклонение по длине намотанного металлокорда и увеличение технически неизбежных отходов у конечного потребителя.

С целью исключения перечисленных вопросов принято решение модернизировать машину, задействовав оборудование, выпускаемое в серийных условиях различными производителями, что позволяет производить закупку по рыночной цене вместо оборудования, изготовленного на заказ одним производителем без конкуренции, и избежать необоснованного завышения цены.

Для внедрения системы контроля вращения торсиона предложено использовать источник бесперебойного питания внутри машины, что позволило сохранить всю информацию с датчиков в случае отключения питания или проблем со связью. В качестве связи использован Bluetooth/Ethernet-радиомодуль с классом защиты не ниже IP65 и расширенным диапазоном питающего напряжения (от 9 до 30 В). Контроллер внутри гондолы должен обладать энергонезависимой памятью, иметь высокоскоростные входы для возможности считывания частоты вращения торсиона и подсчета счетных импульсов метража.

Данные требования не могли быть реализованы при использовании вращающихся трансформаторов ввиду повышенного потребления питания новой системой и необходимости заряда аккумуляторов. Совместно со службой электрика разработан новый щеточный узел с более крупными щетками наподобие тех, что используются в двигателях постоянного тока и, соответственно, имеют повышенные ресурс и срок службы.

Установка дополнительного датчика на узел торсиона позволила считывать скорость его вращения. Это необходимо ввиду приведения торсиона в движение посредством зубчатого ремня, который в процессе эксплуатации изнашивается и приходит в негодность. Нарушение целостности ремня при работе канатной машины и свивки металлокорда может стать причиной образованию неисправимого дефекта «несоответствующее остаточное кручение» и производства более 14 тыс. м бракованной продукции (эквивалент 45 кг металлокорда).

На практике выяснилось, что разная степень износа вносит минимальные коррективы скорости вращения торсиона, но тем не менее, опираясь на принципы РУ, наладчик должен на панели оператора выставить расчетную скорость торсиона, при отклонении от которой произойдет формирование ошибки и остановка машины, таким образом, величина несоответствующей продукции не превысит 100 м.

Программное обеспечение усовершенствовано [4] с целью более детального анализа работы машины, исключения или своевременного обнаружения аварийных событий и предотвращения ошибок оператора. Это позволило обеспечить:

- визуализирование [5] сигнализации в случае остановки канатной машины в диапазоне длины намотки от 0 до 300 м. Вывод предупреждающего сообщения на панель оператора: «Внимание. Проверь обнуление счетчика», – дает возможность исключить образование «короткомеров» и тем самым снижает уровень технически неизбежных отходов у потребителя;
- выявление неисправностей узла торсиона, что уменьшает количество несоответствующей продукции путем быстрой остановки канатной машины;
- создание архива [5] катушек, где оператор должен перед началом работы ввести номер катушки, на которую происходит намот (рис. 1), либо указать, что это настроечная катушка, на которую запрещается намот свыше 300 м, с отображением всплывающего окна: «Внимание. Настроечная катушка. Обнули метраж». Также в архиве хранится история срабатывания всех ошибок, которые могут повлиять на длину металлокорда на катушке (рис. 2);

RUN	Ошибка 0	Остаток 6235.6 метров 30 минут	№ кат 452361	18/09/24 12:13:18
НАСТРОЕЧНАЯ КАТУШКА				
НОМЕР КАТУШКИ				
452361				
ПРОДОЛЖИТЬ				

Рис. 1. Визуализирование всплывающего окна для ввода номера катушки

LA	Ошибка ####	Остаток ##### # метров ### минут				№ кат #####		18/09/24 11:54:54							
Наматываемая:		#	##	#	#	##	#	#	#	#	#	#	#	#	#
№	Дата	Время	№ катушки	Доп счётчик	UPD	Коэффициент	Осн счётчик	16	24	30	45	48	106	105	46
1	18/09/2024	11:54	#	##	#	#	##	#	#	#	#	#	#	#	#
Назад								Меню							

Рис. 2. Визуализирование истории архива

– контроль действий оператора в процессе намота в формате отдельного списка [5], в котором отображены дата и время формирования события, причина срабатывания (нажатие кнопок управления оператором либо аварийные события) (рис. 3). К данному событию привязаны номер катушки, состояние машины (например, «намот завершён», «сбой датчика метража» и т.д.), фактический метраж на катушке и целевое задание метража;

RUN	Ошибка	0	Остаток	6235.6 метров	30 минут	№ кат	452361	18/09/24 12:08:15
09/18/2024	12:08:11	Кнопка пуск.	Катушка 452361 , метраж 7652 (70000)	RUN				
09/18/2024	12:08:07	Аварийный стоп.	Катушка 452361 , метраж 7652 (70000)	RUN				
09/18/2024	12:08:04	Кнопка стоп.	Катушка 452361 , метраж 7652 (70000)	RUN				
09/18/2024	12:07:59	Кнопка квитирования.	Катушка 452361 , метраж 7652 (70000)	RUN				
09/18/2024	12:05:02	105 - Обрыв.	Катушка 452361 , метраж 7652 (70000)	RUN				
09/18/2024	12:04:55	Намот завершён.	Катушка 452361 , метраж 7652 (70000)	RUN				
09/18/2024	12:03:33	48 - Нет напряжения.	Катушка 452361 , метраж 7652 (0)	RUN				
09/18/2024	12:02:13	30 - Сбой датчиков метража.	Катушка 452361 , метраж 7652 (0)	STOPu				

Рис. 3. Визуализирование событий в формате отдельного списка

– возможность проверки работоспособности каждого из датчиков, используемых в машине [5] (рис. 4);
 – вычисление и своевременное устранение сбоев в работе машины и контроль непреднамеренных ошибок операторов.

RUN	Ошибка	0	Остаток	6235.6 метров	30 минут	№ кат	452361	18/09/24 12:16:27
Сигналы периферии	Входы	Входы	Входы	Входы	Входы / Выходы	Входы / Выходы	Входы / Выходы	Входы / Выходы
100	106	00 08	00 08	00 08	00 08	00 05	00	00
101	107	01 09	01 09	01 09	01 09	01 06	02	02
102	110	02 10	02 10	02 10	02 10	02 07	03	03
103	111	03 11	03 11	03 11	03 11	03 08	04	04
104	1110	04 12	04 12	04 12	04 12	04 09	05	05
105	1111	05 13	05 13	05 13	05 13			
Выходы		06 14	06 14	06 14	06 14			
C0.0C1.5		07 15	07 15	07 15	07 15			

Рис. 4. Визуализирование работоспособности датчиков, используемых в машине

Внедрение контроля системы РУ. В 2019–2020 гг. у потребителей возникла проблема обнаружения в резинокордном полотне такого дефекта, как «заеживание» – одиночные обрывы, пропущенные датчиками улавливания обрывов и увитые в структуру металлокорда при изготовлении. В результате проделанной работы появилась возможность контроля автоматической остановки работы машины через 4 ч без обрыва для проверки работоспособности всех датчиков улавливания обрывов перед приемной катушкой, что позволяет вовремя заметить неисправность системы улавливания обрывов и не допустить попадания одиночных обрывов внутрь катушки. Результатом внедренных мероприятий стало снижение количества случаев по дефекту «заеживание»: в 2018 г. 32 случая, 2019 г. – 10, 2020 г. – 6 случаев, далее сообщений о наличии дефекта не поступало.

Выводы

Таким образом, в проведенной работе можно выделить два направления.

1. Совершенствование программного обеспечения в части внедрения функции срабатывания сигнализации (в случае остановки канатной машины в диапазоне длины намотки от 0 до 300 м), обнаружения и своевременного устранения сбоев в работе машины, контроля непреднамеренных ошибок операторов, создания архива действий и событий, происходящих на канатной машине. Это позволяет выявлять скрытые дефекты и сбои канатной машины (в том числе по длине), которые могут привести к образованию несоответствующей продукции. Скрытые дефекты по длине (разнодлинность в масштабе зарядки

каландра) в дальнейшем при каландрировании у потребителя приводят к образованию «короткомеров» – катушек, которые выходят по длине намота раньше остальных, что приводит к остановке каландра. Весь металлокорд, оставшийся необрезанным (минимальная зарядка каландра основного потребителя металлокорда составляет 360 катушек), включается в технически неизбежные отходы (ТНО). Данные по ТНО за период с 2023 г. по второй квартал 2025 г. представлены на рис. 5.

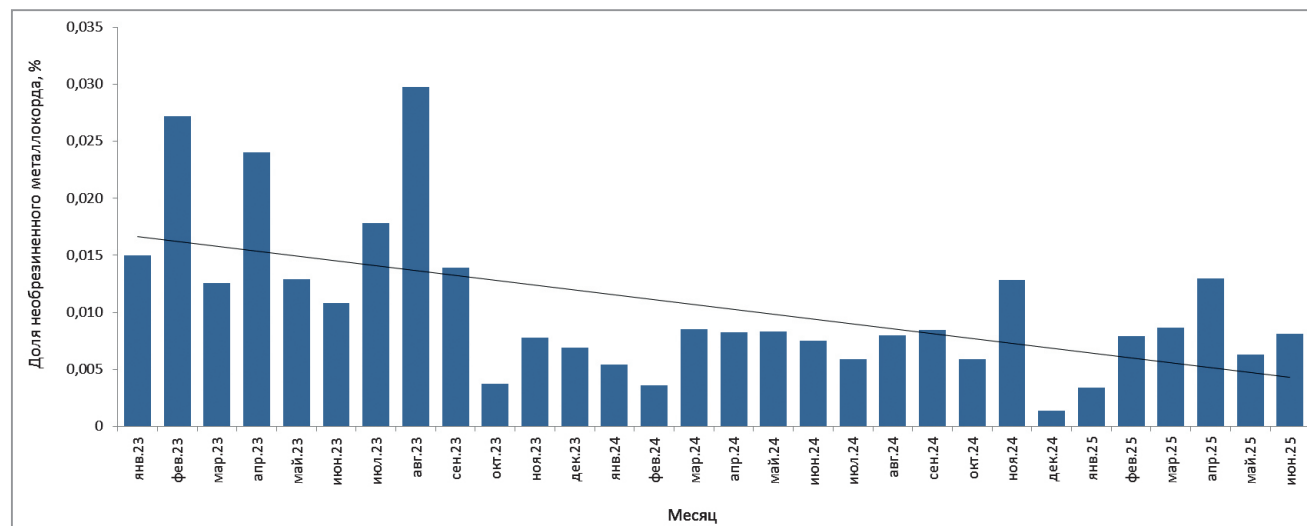


Рис. 5. Отходы необрезанного металлокорда по месяцам

2. Внедрение системы контроля торсиона позволяет выявлять неисправности узла торсиона на ранней стадии путем быстрой остановки канатной машины и, таким образом, снижать количество несоответствующей продукции. Внедрение контроля системы РУ в части автоматической остановки работы машины через 4 ч без обрыва для проверки работоспособности всех датчиков улавливания обрывов перед приемной катушкой дает возможность вовремя заметить неисправность системы улавливания обрывов и не допустить попадания одиночных обрывов внутрь катушки.

ЛИТЕРАТУРА

1. РОКА-YOKE (принцип нулевой ошибки) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.up-pro.ru>. – Дата доступа: 30.04.2025.
2. Здесенко, В.А. Инструмент «Рока-Йоке» как фактор повышения эффективности производства / В.А. Здесенко, В.М. Мордова // Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. – С. 2683–2687.
3. HQTS-Услуги по управлению качеством цепочки поставок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.hqts.ru. – Дата доступа: 30.04.2025.
4. Weintek: тематический форум / Работа с панелями оператора Weintek – подключение, программирование, совмещение с ПЛК. Данные в коммуникативных форматах, txt. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rusavtomatika.com/forum/viewforum.php?f=1>. – Дата доступа: 30.04.2025.
5. Серия cMT: электронная библиотека / Weintek – Среда разработки EasyBuilder Pro. Данные в формате pdf. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.weintek.net/documents.html?docsection=cmt>. – Дата доступа: 30.04.2025.

REFERENCES

1. *POKA-YOKE (princip nulevoj oshibki)* [POKA-YOKE (zero error principle)] [Electronic resource]. Access mode: <http://www.up-pro.ru> (access date: 04.30.2025).
2. *Zdesenko V.A., Mordova V.M.* Instrument «Roka-Yoke» kak faktor povysheniya effektivnosti proizvodstva [The Roca-Yoke tool as a factor in increasing production efficiency]. *Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. molodyh uchenyh BGTU im. V.G. Shuhova = Int. scientific and technical. conf. of young scientists of BSTU named after V.G. Shukhov*. Belgorod, BSTU im. V.G. Shuhova, 2015, pp. 2683–2687.
3. *HQTS – Uslugi po upravleniyu kachestvom cepochki postavok* [HQTS – Supply Chain Quality Management Services] [Electronic resource]. Access mode: www.hqts.ru. (access date: 30.04.2025).
4. *Weintek: tematicheskij forum / Rabota s panelyami operatora Weintek – podklyuchenie, programmirovaniye, sovmeshcheniye s PLK. Dannye v kommunikativnyh formatah, txt.* [Weintek: thematic forum / Working with Weintek operator panels – connection, programming, combination with PLC. Data in communication formats, txt] [Electronic resource]. Access mode: <https://www.rusavtomatika.com/forum/viewforum.php?f=1> (access date: 30.04.2025).
5. *Seriya cMT: elektronnaya biblioteka / Weintek – Sreda razrabotki EasyBuilder Pro. Dannye v formate pdf.* [cMT Series: Electronic Library / Weintek – EasyBuilder Pro Development Environment. Data in pdf format] [Electronic resource]. Access mode: <https://www.weintek.net/documents.html?docsection=cmt> (access date: 30.04.2025).