

УДК 621.31-047.36  
DOI: 10.36979/1694-500X-2022-22-4-32-38

## ПРЕИМУЩЕСТВО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ PI SYSTEM ДЛЯ УЧЁТА ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ И МОНИТОРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

*С.В. Горячев, В.Ю. Соколов, М.Д. Базаркина*

*Аннотация.* Рассматривается комплексное решение задач для автоматизированного сбора данных по потреблению энергоресурсов, состояния оборудования, эксплуатируемого на промышленном предприятии производства цинка с помощью внедрения системы PI System. Отмечены основные преимущества системы, позволяющие исключить ошибки «человеческого фактора» при сборе и обработке данных энергоэффективности предприятия. Ошибки анализа эффективности и состояния производства возникают при неправильной или несвоевременно переданной информации персоналом эксплуатации посредством устного или ручного сбора и ввода данных, что понижает надежность и достоверность полученной информации. PI System интегрирует при помощи средств КИПиА и АСУТП системы мониторинга динамического, статического оборудования и технологического процесса. Система мониторинга работает в реальном времени и оповещает технологический персонал об аварийно-предупредительных инцидентах и дает рекомендации в случае отклонений технологических параметров от регламента, тем самым повышая надежность и отказоустойчивость при эксплуатации оборудования. Формирует отчеты балансовой эффективности как отдельных энергоблоков, так и всего предприятия в целом.

*Ключевые слова:* сбор информации; визуализация; энергоносители; учёт; показания счетчиков; уровень надёжности; кривая Лоренца; параметр Джини.

---

## ЭНЕРГИЯНЫ КЕРЕКТӨӨНҮ ӨЛЧӨӨ ЖАНА ТЕХНОЛОГИЯЛЫК ПРОЦЕССКЕ МОНИТОРИНГ ЖҮРГҮЗҮҮ ҮЧҮН PI SYSTEMДИ КОЛДОНУУНУН АРТЫКЧЫЛЫКТАРЫ

*С.В. Горячев, В.Ю. Соколов, М.Д. Базаркина*

*Аннотация.* Энергия ресурстарын керектөө, PI системасын ишке киргизүү аркылуу цинк өндүрүү өнөр жайында иштетилүүчү жабдуулардын абалы жөнүндө маалыматтарды автоматташтырып чогултуу үчүн маселелерди комплекстүү чечүү каралат. Системанын негизги артыкчылыктары белгиленип, алар ишкананын энергетикалык натыйжалуулугу боюнча маалыматтарды чогултууда жана иштетүүдө «адам факторунун» каталарын жоюуга мүмкүндүк берет. Өндүрүштүн натыйжалуулугуна жана абалына талдоо жүргүзүүдө каталар маалымат туура эмес же оперативдүү персонал тарабынан маалыматтарды оозеки же кол менен чогултуу жана киргизүү жолу менен берилбеген учурда келип чыгат, бул алынган маалыматтын ишенимдүүлүгүн жана тактыгын төмөндөтөт. PI системасы Технологиялык процессти автоматташтырылган башкаруу системасынын жана контролдук-ченөөчү приборлор жана автоматика каражаттары аркылуу динамикалык, статикалык жабдууларга жана технологиялык процеске мониторинг жүргүзүү системасын интеграциялайт. Мониторинг жүргүзүү системасы реалдуу убакыт режиминде иштейт жана технологиялык персоналга авариялык-эскертүүчү кырдаалдар жөнүндө кабарлайт жана технологиялык параметрлер регламенттен четтеген учурда сунуштарды берет, ошону менен жабдууларды эксплуатациялоодо ишенимдүүлүктү жана туруктуулукту жогорулатат. Айрым энергоблоктордун жана бүтүндөй ишкананын балансынын натыйжалуугу боюнча отчетторду түзөт.

*Түйүндүү сөздөр:* маалымат чогултуу; визуалдаштыруу; энергия алып жүрүүчүлөр; бухгалтердик эсеп; эсептеги маалыматтар; ишенимдүүлүк деңгээли; Лоренц ийри сызыгы; Джини параметри.

## THE ADVANTAGE OF USING THE PI SYSTEM TO ACCOUNT FOR ENERGY CONSUMPTION AND PROCESS MONITORING

*S.V. Goryachev, V.Yu. Sokolov, M.D. Bazarkina*

**Abstract.** The article considers a complex solution of tasks for automated data collection on energy consumption, the condition of equipment operated at an industrial zinc production enterprise using the implementation of the PI System. The main advantages of the system are noted, which make it possible to exclude errors of the "human factor" when collecting and processing energy efficiency data of the enterprise. Errors in the analysis of efficiency and the state of production occur when incorrect or untimely information is transmitted by the operating personnel through oral or manual data collection and input, thereby reducing the reliability and reliability of the information received. PI System integrates monitoring systems for dynamic, static equipment and technological process using instrumentation and control systems. The monitoring system works in real time and notifies the technological personnel about emergency incidents and gives recommendations in case of deviations of technological parameters from the regulations, thereby increasing reliability and fault tolerance during operation of the equipment. Generates reports on the balance efficiency of both individual power units and the entire enterprise as a whole.

**Keywords:** information collection; visualization; energy carriers; accounting; meter readings; reliability level; Lorentz curve; Gini parameter.

Важным условием эффективного управления предприятием является достоверная и оперативная информация о состоянии производства, это: состояние вспомогательного оборудования; результаты диагностических исследований; качество поступающего сырья и готовой продукции; потребление энергоресурсов. Чаще всего эта информация находится в бумажных отчетах либо в различных базах данных, поэтому в большинстве случаев эта информация недоступна или к настоящему моменту она имеет устаревшие данные.

С помощью создания платформы, которая обеспечивает автоматизированный сбор информации, ее обрабатывает и предоставляет в удобном виде, можно с легкостью принимать решения, основываясь на достоверных данных реального времени о работе производства. В постсоветских странах образовалось несколько основных подходов к автоматизации управления производством в реальном времени, в рамках которых ведутся работы по созданию автоматизированных систем управления производством (АСУП), систем поддержки принятия решений (СППР), информационных систем производства (ИСП) и др. Принято считать, что объем реализуемых функций и подходы к решению задач на различных предприятиях индивидуальны и обусловлены потребностями специалистов [1].

В данной работе рассмотрено, как производственные предприятия создают ИСП на базе PI System и дополнительных прикладных программных пакетов.

Основная задача ИСП – это обеспечение непрерывного роста прибыли, обусловленного совокупностью правильных и оперативных решений всех специалистов, сотрудников и руководителей предприятий.

PI System образует единую информационную платформу, ликвидирующую значительные функциональные и временные несоответствия между автоматизированными системами управления технологическими процессами и аналитическими системами управления предприятием в целом. Необходимы минимальные усилия для сбора технологических данных реального времени, обработки, распределения и отображения одновременно на любых настольных, переносных и карманных компьютерах по всему предприятию в любой точке мира.

Интеграция с лабораторными системами и системой товарного опробования производится через PI интерфейс к реляционным базам данных (рисунок 1).

Обработка этих данных может производиться непосредственно в PI Сервер. PI Сервер обеспечивает возможность долговременного хранения данных лабораторных анализов и представления их пользователям совместно с информацией о технологических параметрах. Технологическая информация, поступившая через PI интерфейсы в реальном времени в унифицированном виде, «сжимается» по специализированным алгоритмам и может годами храниться в PI Сервере [2].

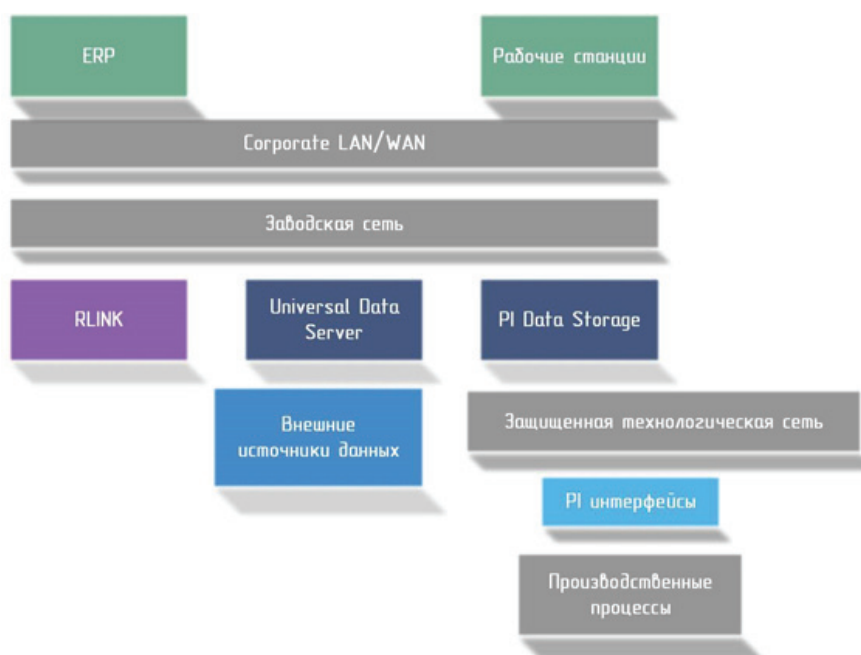


Рисунок 1 – Интеграция разнородных систем

PI System визуализирует производительность, потребляемую мощность и состояние основных и вспомогательных установок на примере производства катодной меди предприятия по производству цинка.

Программа используется для учёта электроэнергии, потребляемой динамическим оборудованием на катодной технической станции (КТС).

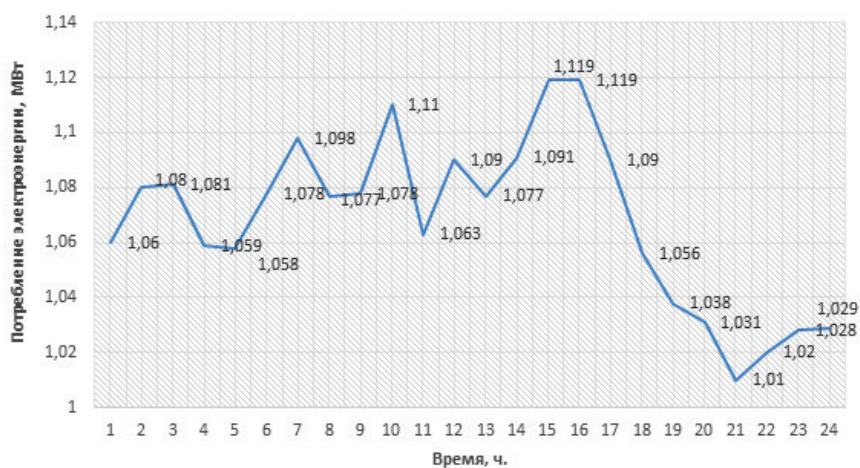


Рисунок 2 – Потребление электроэнергии в цехе обжига цинковых концентратов

На рисунке 2 показан суточный баланс потребления электроэнергии в цехе обжига цинковых концентратов. Резкие скачки на графике указывают на повышение производительности установки. Понижение – на необходимость в более стабильном снабжении сырьем или техническом обслуживании и ремонте.

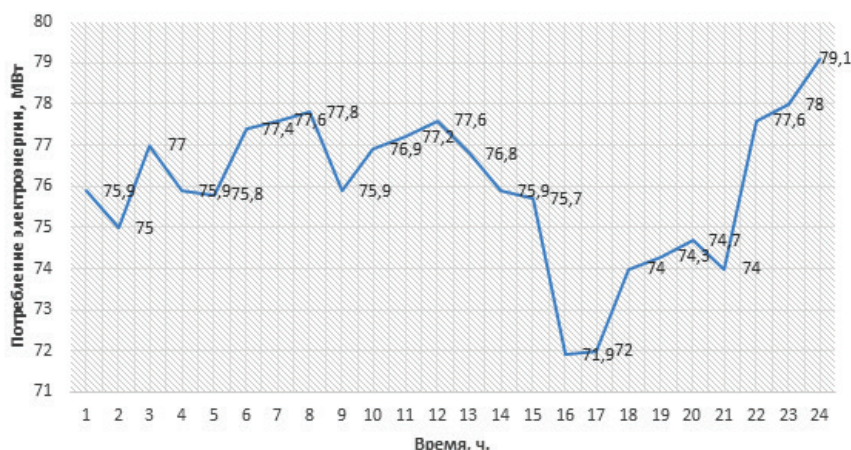


Рисунок 3 – Потребление электроэнергии на вспомогательном оборудовании

На рисунке 3 показан суточный учет электроэнергии, затрачиваемой на вспомогательное оборудование для поддержания технологического процесса всего основного производства.

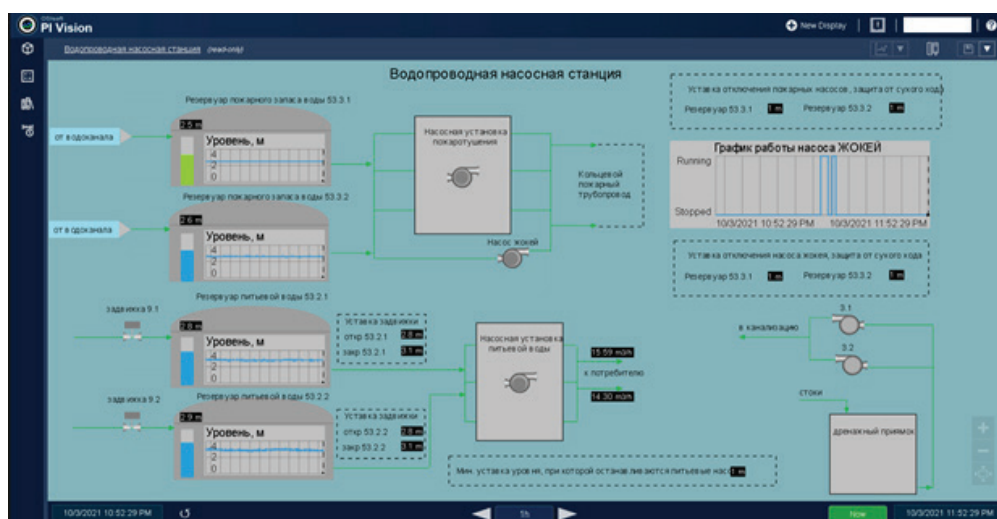


Рисунок 4 – Схема управления водопроводной насосной станцией

На мнемосхеме технической насосной станции (ТНС) PI System визуализирует процесс водоснабжения производства с показанием текущих уровней в баке запаса воды для нужд потребителей и пожаротушения. А также состояние динамических насосов перекачки воды (рисунок 4).

Ранее, учёт данных на ТНС осуществлялся с помощью тарированных приборов измерения, результаты которых в дальнейшем сводились в таблицы, по которым специалисты раз в квартал составляли отчет о потребленных энергоносителях (рисунки 5, 6).

Внедрение системы позволяет получать и обрабатывать данные в режиме реального времени. Отклонения численных значений от номинала больше допустимого обозначается красным цветом на табло индикации, что указывает на необходимость проведения ответных действий со стороны контролирующего оператора.

Месячный отчет потребления воды объект: ТНС								
№ п.п.	Дата	Время	Линия В13		Линия В15		Линия В16	
			Текущий расход	Суммарный расход	Текущий расход	Суммарный расход	Текущий расход	Суммарный расход
1	2021.09.01	8:01	524,21	12581,04	650,01	15600,24	273,25	6558
2	2021.09.02	8:30	650,01	15600,24	742,45	17818,8	524,21	12581,04
3	2021.09.03	8:22	742,45	17818,8	324,2	7780,8	650,01	15600,24
4	2021.09.04	8:15	324,2	7780,8	564,11	13538,64	524,21	12581,04
5	2021.09.05	8:05	564,11	13538,64	150,1	3602,4	324,2	7780,8

Рисунок 5 – Отчет потребления воды. Объект: ТНС

Расходомер	Расход, м³/ч	Смена 1, м³	Смена 2, м³	Сутт., м³	Прош. сутт., м³	Месяц, м³	Год, м³
ДЗ 19FT09	1.056.19	3.452.50	0.00	20.543.25	19.310.50	50.610.25	3.268.877.00
ДЗ 19FT817	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.224.093.25
НСОВ 19FT534	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	1.321.56	881.763.30
НСОВ 19FT519	1.196.98	6.905.00	0.00	42.905.00	42.727.50	110.683.00	4.354.518.00
НСОВ 19FT520	965.24	3.452.50	0.00	24.028.13	20.076.75	50.539.50	1.444.165.00
ТНС 19FT526	346.46	2.061.25	0.00	4.540.00	1.831.25	7.853.75	2.567.163.25
ТНС 19FT200	1.208.61	3.452.50	0.00	21.452.50	19.108.50	52.692.00	2.597.006.00
ТНС 19FT400	1.474.48	6.905.00	0.00	42.905.00	43.200.00	109.105.50	6.793.462.50
З 19FT801	Елор	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.22
Ивель 18FT153A	0.03	0.00	0.00	187.75	291.57	544.78	29.464.25
Ивель 18FT153B	14.00	51.37	0.00	163.78	134.05	328.31	8.105.51
Ивель 18FT155A	0.02	0.00	0.00	25.09	134.02	214.37	11.325.07
Ивель 18FD151	0.01			Comm Fail	Comm Fail	Comm Fail	Comm Fail

Рисунок 6 – Показания счетчиков воды

Применение системы PI System позволяет повысить надежность при рассмотрении основного соединения элементов в системе жизнеобеспечения предприятия. Мы рассматриваем характеристики надежности для системы, состоящей из трех последовательно соединенных элементов: А, В и С. Элемент А обозначает события, указывающие на работоспособность указателя уровня резервуара пожарного запаса воды (см. рисунок 4). Элемент В обозначает события, указывающие на работоспособность перекачивающего насоса. Элемент С отображает события, указывающие на работоспособность насосной станции. Если предположить, что отказы элементов системы статистически независимы, что получается за счет дублирования участков, то можно считать, что отказ любого из элементов системы никак не повлияет на работоспособность всей системы в целом [3]. Таким образом, для определения вероятности безотказной работы системы мы составили уравнение, позволяющее рассчитать вероятность безотказной работы:

$$P_S = \prod_{i=1}^N P_i = P_A \cdot P_B \cdot P_C, \quad (1)$$

где  $P_A$  – вероятность выхода из строя указателей уровня воды;  $P_B$  – вероятность выхода из строя насоса;  $P_C$  – вероятность выхода из строя насосной станции.

$$P_S = 0,98 \cdot 0,87 \cdot 0,85 = 0,724.$$

Уровень надежности насосной станции наиболее полно может быть охарактеризован показателем Джини. Численная величина данного параметра представляется вероятностью наступающего события с достоверностью: да – 1, нет – 0. Параметр Джини (*Gini coefficient*) – это качественный показатель, который используется при оценке прогностических моделей в задачах бинарной классификации в условиях сильного дисбаланса классов целевой переменной.

Параметр Джини применительно к оценке различий в уровне надежности насосной станции определяется по формуле:

$$K_g = 1 - 2 \sum_{i=1}^n x_i \text{cum} y_i + \sum_{i=1}^n x_i y_i, \quad (2)$$

где  $x_i$  – доля ветроэнергетических установок в  $i$ -й группе;  $y_i$  – доля  $i$ -й группы в совокупном уровне коэффициентов;  $\text{cum} y_i$  – вычисленная нарастающим итогом доля коэффициентов.

Кривая Лоренца, называемая также показателем подъема, является зеркальным отражением кривой Лоренца относительно линии абсолютного равенства. Минимизировать погрешности вычисления позволяют математические функции: *scipy interp1d* (интерполяция одномерной функции) и *quad* (вычисление некоторого интеграла). Вычисление точного значения параметра Джини для уровня надежности насосной станции представляет собой сложную многомерную модель. Поэтому качественным показателем правильности получения показателей можно считать нормированный коэффициент Джини. Его получают как отношение параметра Джини обученной модели к коэффициенту идеальной модели параметра Джини, комбинаторно рассчитывая при этом число перестановок для случайно выбираемого алгоритма. Число перестановок для случайно выбираемого алгоритма, которые необходимо сделать в ранжированном списке, должно быть представлено целевой переменной:

$$Gini_{norm} = \frac{Gini_{model}}{Gini_{perfect}}. \quad (3)$$

Таким образом, можно сделать следующие выводы: для текущего набора данных составления идеального алгоритма необходимо получение максимального параметра Джини, он зависит только от истинного распределения классов в задаче; площадь фигуры кривой Лоренца для идеального алгоритма равна числу нулевых объектов класса в выборке, деленной пополам; коэффициент Джини случайного алгоритма равен 0, а кривая подъема совпадает с линией абсолютного равенства; нормализованный параметр Джини является метрикой качества, которую необходимо максимизировать (рисунок 7).

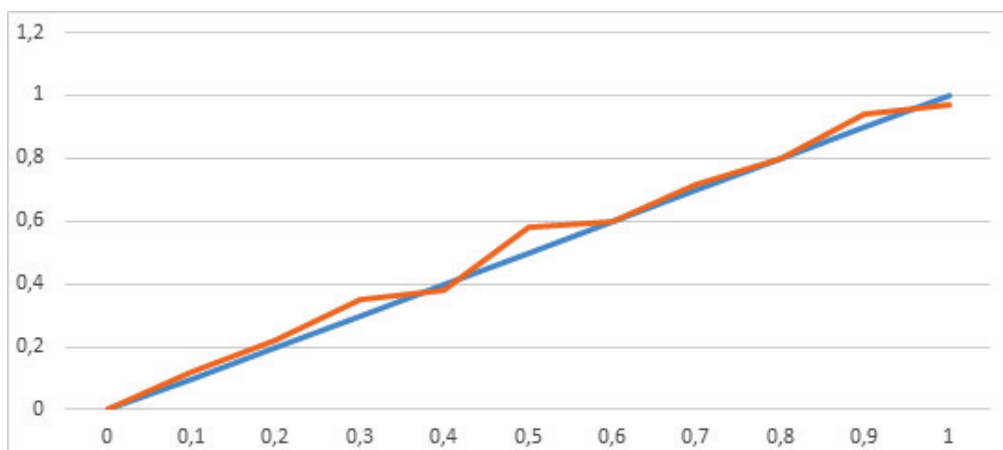


Рисунок 7 – Кривая Лоренца

Коэффициент Джини улучшенной модели численно равен 0,29698, эта величина отличается от заложенной авторами в идеальную систему величины коэффициента использования установленной мощности, равен 0,27 на 9.1 %. Этот параметр соответствует ГОСТ 27.002–2015 «Надёжность в технике» по коэффициенту готовности в 10 % [4].

Поступила: 07.03.22; рецензирована: 22.03.22; принята: 25.03.22.

#### *Литература*

1. Основы автоматизации технологических процессов и производств: учеб. пособие для студ. вузов / О.М. Соснин. М.: Изд. центр «Академия», 2007. 240 с.
2. Современные технологии промышленной автоматизации: учебник / О.В. Шишов. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2007. 250 с.
3. Карелин В.Я. Насосы и насосные станции: учеб. для вузов / В.Я. Карелин, А.В. Минаев. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1986. 320 с.
4. ГОСТ 27.002–2015 Надёжность в технике. Термины и определения / В.А. Нетес, В.Л. Шпер, Ю.И. Тарасьев, Г.Ф. Ковалев, Г.А. Федотова и др. М.: Стандартинформ, 2016. 29 с.