

## Оценка суммарной эффективности программируемых логических контроллеров с целью реализации политики импортозамещения

*И.М. Сафаров, Н.В. Богданова, Т.И. Латыпов*

*Казанский Государственный Энергетический Университет,  
г. Казань, Россия*

**Аннотация:** В данной работе предложен метод количественной оценки суммарной эффективности программируемых логических контроллеров различных производителей. Адекватная оценка обеспечивает возможность выбора программируемого логического контроллера (ПЛК) в рамках реализации политики импортозамещения отечественным продуктом устройств компаний-конкурентов, ушедших с российского рынка. Решение поставленной задачи осуществляется введением линейной оценочной шкалы по выбранным характеристикам ПЛК. Количественная оценка качественных характеристик ПЛК позволила получить значение суммарной эффективности для рассматриваемых в работе ПЛК. Оценка суммарной эффективности подтвердила конкурентоспособность отечественных ПЛК по отношению к зарубежным. Развитие представленного метода оценки позволит осуществлять анализ эффективности сложных, крупных систем управления, составленных из разнотипного оборудования. Представленный метод может использоваться с течением времени для получения актуальной информации о суммарной эффективности.

**Ключевые слова:** программируемый логический контроллер, параметры оценки, квалиметрия, суммарная эффективность, импортозамещение.

### **Введение.**

Программируемые логические контроллеры являются неотъемлемой частью современных автоматизированных систем управления (АСУ) в сфере промышленной автоматизации технологических процессов. Функциональная база ПЛК может как обеспечивать автоматизацию отдельного механизма, так и полностью удовлетворять потребностям сложных, широкомасштабных систем автоматизированного управления. Развитие автоматизированных систем управления и регулирования побуждает к созданию более

---

совершенных контроллеров. Поэтому актуальна необходимость эффективного и адекватного выбора конкретной системы, исходя из потребностей автоматизированного производства. Особую важность этот аспект приобретает, например, для промышленных объектов отраслей, в которых отсутствие стабильной, бесперебойной работы приводит к многомиллионным экономическим потерям. Указанным требованиям в полной мере удовлетворяли такие проверенные, доказавшие свою надежность компании, как *Siemens*, *Yokogawa* и т.д. Также на рынке представлены ПЛК других фирм-производителей, например, ОВЕН и АБАК.

В настоящее время происходит процесс импортозамещения во всех отраслях народного хозяйства, поэтому оценка эффективности приобретает новую актуальность при сравнении характеристик ПЛК разных производителей.

В рамках правительственного плана осуществления импортозамещения в Российской Федерации была разработана и утверждена Госпрограмма, о чем принято Постановление Правительства РФ от 15 апреля 2014 г. №320 "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Управление государственными финансами и регулирование финансовых рынков". Одной из целей импортозамещения в Российской Федерации является развитие промышленности и повышение уровня ее конкурентоспособности на рынке.

Целями импортозамещения, в частности, обозначены:

- создание промышленного производства, конкурентоспособного и сбалансированного;
  - разработка, внедрение и использование инновационных передовых технологий в промышленности с целью импортозамещения;
  - продвижение на рынке инновационных товаров как результатов импортозамещения.
-

При достижении целей импортозамещения будет получена развитая инфраструктура инновационных производств, созданы новые рабочие места для персонала высокой квалификации, модернизированы технологическая и производственная базы, повысится эффективность производства, будут разработаны соответствующие нормативные документы, получены патенты и т.д.

Выбор ПЛК подразумевает количественную оценку его качества. Различные методики оценки, основанные на методах квалиметрии, представлены в работах таких авторов, как Шапошников В.А., Азгальдов Г.Г. и других. На основании их анализа мы разработали методику оценки эффективности ПЛК, которую мы обозначили как «суммарную эффективность». Используемая методика оценки учитывает область применения оцениваемых устройств путем выбора адекватных параметров для оценки, обосновывает выбор для проведения оценки только единичных показателей надежности, определяет выбор изделия в качестве наиболее эффективного.

### **Материалы и методы**

Современные ПЛК претерпели целый ряд изменений в процессе их применения и модернизации от момента создания, но основные, базовые принципы и смыслы, которые закладывали в 50-х гг. прошлого столетия их разработчики, остались неизменными. ПЛК должны быть простыми, удобными в эксплуатации, недорогими в обслуживании; позволять вносить изменения в управляющую программу, не нарушая работу всей системы; обеспечивать максимальную результативность при минимальной цене [1].

Для измерения результативности необходимо разработать соответствующие методы, которые включали бы возможность количественной оценки наибольшего числа параметров, характеризующих производство, процесс, технологическую установку, продукт или устройство

---

с точки зрения эффективности. Под эффективностью ПЛК в данной работе мы понимаем его способность обеспечивать качество технологического процесса, его действенность, продуктивность.

В данной статье мы представляем методику качественной и количественной оценки эффективности программируемых логических контроллеров, которую мы называем суммарной эффективностью. Для оценки были выбраны ПЛК ведущих производителей: *Siemens*, *Yokogawa*, ОВЕН, АБАК. Произвести оценку суммарной эффективности и последующее сравнение возможно с применением методов квалиметрии.

Квалиметрия - это научная область, объединяющая количественные методы оценки качества, используемые для обоснования решений, принимаемых при управлении качеством продукции и стандартизации [2]. Методы квалиметрии позволяют производить количественную оценку характеристик не только в области точных и естественных наук, но и оценивать результаты исследований в таких областях, как психология, педагогика, социология и т.д.

Рассмотрим ПЛК перечисленных выше производителей с точки зрения сравнительной оценки. Для этого необходимо выбрать характеристики ПЛК, по которым будет осуществляться оценка. Ее сложность обусловлена, с одной стороны, порой очень незначительными отличиями в значениях характеристик, а с другой стороны, некоторые параметры ПЛК сравнивать между собой попарно совершенно нецелесообразно, так как они имеют совершенно различную природу влияния на процесс работы. Поэтому для сравнительной оценки ПЛК мы будем использовать методы квалиметрии.

Контроллеры с программируемой логикой вне зависимости от производителя, являются самостоятельными изделиями, имеющими унифицированные системы ввода сигналов с датчиков и вывода сигналов ПЛК на исполнительные механизмы. Применяются на промышленных

---

предприятиях, как часть системы автоматизированного управления процессами [3]. ПЛК производит постоянный контроль состояния устройств ввода и принимает решения об управлении параметрами выходных устройств сообразно программе.

Выбор ПЛК определяется требованиями конкретного промышленного применения. Во-первых, применение ПЛК должно приводить к достижению определенной цели, которая представляет собой какое-то число определенных шагов. Во-вторых, ПЛК может осуществлять разное количество основных и дополнительных функций, иметь разное число входов и выходов, объем памяти, скорость процессора. В-третьих, важными показателями работы являются также требования к электрической мощности ПЛК, возможности коммуникации с другими устройствами и условия эксплуатации. То есть, количество характеристик ПЛК, влияющих на его работу, очень велико. В нашей работе мы рассмотрели характеристики, наиболее общие и важные при работе любого ПЛК.

Эффективность любой технической системы во многом определяется ее надежностью. Показатели надежности, в свою очередь, фактически предопределяются на стадии проектирования любой системы и ее изготовления [4]. Но также надежность определяется условиями эксплуатации технической системы в целом и отдельных ее устройств [5].

В своей работе мы не будем углубляться в общие вопросы теории надежности. Для описания ПЛК с точки зрения надежности, можно воспользоваться имеющимися данными, согласно теории надежности программно-логических контроллеров как отдельных устройств.

Для оценки надежности ПЛК мы будем рассматривать один из ее единичных показателей – среднюю наработку на отказ. Комплексные показатели надежности ПЛК, которые характеризуют одновременно безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость в

---

отдельности или в каком-либо сочетании этих свойств в данной работе не рассматривались, так как анализ комплексных показателей актуален для системы не опосредованно, а в контексте ее применения [6].

Кроме средней наработки на отказ, мы выбрали для оценки суммарной эффективности программируемых логических контроллеров ведущих производителей: *Siemens*, *Yokogawa*, ОВЕН, АБАК следующие их параметры, характеризующие надежность и привлекательность ПЛК для потребителя с точки зрения возможности его эксплуатации в различных условиях [7]:

- средняя наработка на отказ;
- интерфейсы;
- количество подключаемых модулей;
- потребляемая мощность;
- температурный диапазон;
- используемые протоколы;
- скорость отклика.

Средняя наработка на отказ определяется как математическое ожидание среднего времени наработки до первого отказа. По ГОСТ 16504—81 данный показатель определяется как отношение статистической суммарной наработки  $\sum t_i$  испытываемых объектов до отказа к количеству наблюдаемых объектов  $N$  (1):

$$\hat{T}_1 = \sum \frac{t_i}{N}, \quad (1)$$

Наработка на отказ напрямую зависит от продолжительности периода, в течение которого она определяется, что обусловлено непостоянством характеристики потока отказов [8]. Например, в периоды приработки или предшествующие капитальному ремонту или профилактике величина наработки на отказ меньше, чем после их окончания.

Данные о работе сложных систем показывают, что изменение

интенсивности отказов  $\lambda(t)$  большого количества объектов описывается  $U$ -образной кривой, где повышенная интенсивность отказов, зачастую вызвана приработочными отказами, обусловленными дефектами монтажа и наладки [9].

Сравним показатели средней наработки на отказ, используя данные производителей ПЛК.

Данные о работе ПЛК АБАК на производстве в условиях Сибири, полученные в результате проведенных внутренних испытаний производителя, показали, что для ПЛК АБАК показатель средней наработки на отказ составляет  $\hat{T}_l=100000$  часов. Это сравнимо по надежности с аналогичными показателями для ПЛК компании *Yokogawa*. Величина средней наработки на отказ ПЛК компании *Siemens* превышает показатели ПЛК АБАК и *Yokogawa*, при этом минимальное время работы контроллеров *Siemens* в среднем достигает 20 лет. Данный показатель для каждой из рассматриваемых систем представлен на рис. 1.

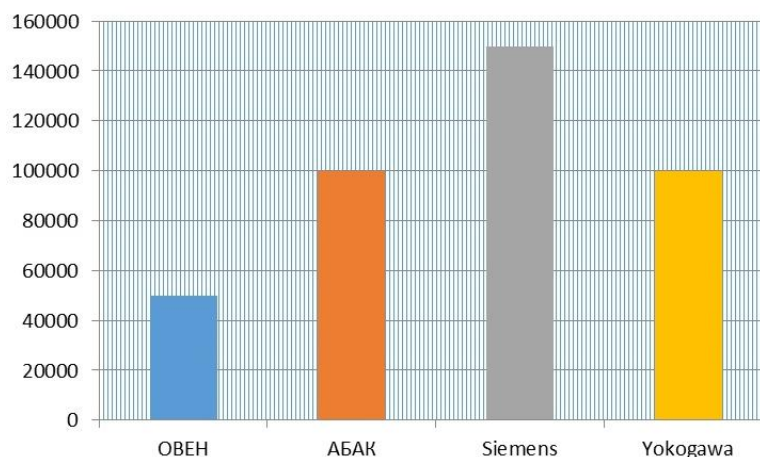


Рис.1. -Значения средней наработки на отказ

Эксплуатационные параметры, которые были выбраны нами для количественной оценки эффективности ПЛК различных производителей, и их значения приведены в таблице 1.

Таблица 1

Эксплуатационные параметры импортных и отечественных ПЛК

| № п/п | Тип ПЛК / Параметры             | АБАК ПЛК  | <i>Siemens SIMATIC S7-300</i>   | <i>Yokogawa</i>                            | ОВЕН   |
|-------|---------------------------------|---|---|--|--|
| 1     | Средняя наработка на отказ      | 100000  | 150000  | 100000                                     | 50000  |
| 2     | Интерфейсы                      | <sup>3</sup><br><i>Ethernet, 4 RS485, 4 USBhost, USBdevice, μSD<sup>1</sup></i> | <i>PC / PPI, Industrial Ethernet<sup>4</sup>, PROFIBUSRS-485/RS-422</i> | Модель с 4 сетевыми портами <sup>5</sup>   | <i>RS 485, RS232, Ethernet 100 Base-T</i>                                      |
| 3     | Количество подключаемых модулей | Подключение до 100 модулей ввода/вывода   | До 62 модулей   | 32   | 16 модулей ввода-вывода <sup>7</sup>   |
| 4     | Потребляемая мощность           | 4 Вт  | От 6 до 14 Вт <sup>3</sup>  | До 20 Вт <sup>6</sup>                      | 6 Вт   |
| 5     | Температурный диапазон          | От -40 до +70 °С  | От -20 до +60°С   | От -20 до +70 °С <sup>2</sup>              | От -10 до +55°С  |
| 6     | Используемые протоколы          | <i>Modbus TCP, Modbus RTU, EtherNet/IP, HART</i>                                | Протокол <i>P</i><br><i>ROFIBUS DP, PROFIBUS PA, PROFINET IO</i>        | <i>Modbus TCP, Modbus RTU, EtherNet/IP</i> | <i>ModBus-RTU, ModBus-ASCII, DCON, ModBus-TCP, GateWay (протокол CODE SYS)</i> |
| 7     | Скорость отклика, мс            | 10  | До 5  | 10   | До 12  |



Выбор параметров обусловлен желанием наиболее полно отразить свойства ПЛК, непосредственно характеризующие качество их работы для потребителей. При этом мы ограничили количество выбранных параметров, так как старались не затрагивать нюансов, которые, в зависимости от свойств объекта автоматизации, могут проявляться совершенно по-разному, например, структуры отказа и резервирования. Стоит, однако, отметить, что каждый из контроллеров поддерживает резервирование модулей, но имеет свои особенности: в *Siemens*, например, возможно зарезервировать два CPU-модуля для бесперебойной работы при неисправностях, а ПЛК АБАК обеспечивает возможность «горячей замены» модулей ввода/вывода.

Для нормальной работы автоматизированной системы необходимы модули CPU, ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов, питания, терминальные модули для увеличения количества сетевых портов и обеспечения питания дополнительных элементов. Увеличение количества и расширение функционала модулей неизбежно увеличивает стоимость контроллера.

Цена шкафов управления на основе отечественных контроллеров уточняется у производителя при оформлении заказа. Но уже на этапе представления оборудования потенциальному заказчику производитель заявляет о более доступной цене по сравнению с зарубежными аналогами.

Учитывая частое изменение цен на комплектующие, готовую продукцию, выполнение работ и прочие расходы, в данной работе стоимость изделия не была включена в оцениваемые показатели эффективности.

Количественную оценку суммарной эффективности на основании рассмотрения характеристик перечисленных выше ПЛК мы предлагаем провести путем введения линейной оценочной шкалы порядка, которая поможет оценить интенсивность проявления свойства по каждому из параметров. Перевод количественного значения параметров в баллы по

---

оценочной шкале представлен в таблице 2.

Таблица №2

Количественная оценка значений эксплуатационных параметров ПЛК.

| № п/п | Параметр / Баллы                    | 1 балл                   | 2 балла     | 3 балла     | 4 балла       | 5 баллов      |
|-------|-------------------------------------|--------------------------|-------------|-------------|---------------|---------------|
| 1     | Средняя наработка на отказ, ч       | менее 20000              | 20000-59000 | 60000-99000 | 100000-129000 | 130000-160000 |
| 2     | Количество типов интерфейса         | Каждый интерфейс +1 балл |             |             |               |               |
| 3     | Количество подключаемых модулей, шт | 0-20                     | 21-40       | 41-60       | 61-80         | 81-100        |
| 4     | Потребляемая мощность, Вт           | 20-24                    | 15-19       | 10-14       | 5-9           | 0-4           |
| 5     | Температурный диапазон, °С          | -                        | 0-30        | 31-60       | 61-90         | 91-120        |
| 6     | Количество протоколов               | Каждый протокол +1 балл  |             |             |               |               |
| 7     | Скорость отклика, мс                | 21-25                    | 16-20       | 11-15       | 6-10          | 0-5           |

На основании присвоенных каждому из параметров диапазонов изменения баллов, оценим эффективность по каждому из выбранных параметров ПЛК, а также суммарную эффективность. Результаты количественной оценки методом квалиметрии сведены в таблицу 3.

Таблица №3

Квалиметрическая оценка эффективности ПЛК в баллах

| № п/п | Параметр / ПЛК              | АБАК | Siemens | Yokogawa | ОВЕН |
|-------|-----------------------------|------|---------|----------|------|
| 1     | Средняя наработка на отказ  | 4    | 5       | 4        | 2    |
| 2     | Количество типов интерфейса | 5    | 4       | 4        | 3    |

Продолжение таблицы №3

| № п/п        | Параметр / ПЛК                  | АБАК      | Siemens   | Yokogawa  | ОВЕН      |
|--------------|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 3            | Количество подключаемых модулей | 5         | 4         | 2         | 1         |
| 4            | Потребляемая мощность           | 5         | 4         | 3         | 4         |
| 5            | Температурный диапазон          | 5         | 4         | 4         | 4         |
| 6            | Количество протоколов           | 4         | 3         | 3         | 5         |
| 7            | Скорость отклика, мс            | 4         | 5         | 4         | 3         |
| <b>Итого</b> |                                 | <b>32</b> | <b>29</b> | <b>24</b> | <b>22</b> |

По результатам количественной оценки суммарной эффективности ПЛК, представленным в таблице 3, можно сделать следующие выводы:

Максимальное количество баллов, согласно выбранной методики и значениям параметров для оценки, имеет ПЛК АБАК.

При оценке эффективности ПЛК АБАК по каждому из выбранных параметров его оценка не является максимальной.

Значения средней наработки на отказ ПЛК АБАК получены на основании небольшого количества статистических данных, в отличие от ПЛК *Siemens* и *Yokogawa*. Со временем, учитывая форсированное внедрение ПЛК АБАК, данные могут уточняться.

Результаты произведенной оценки имеют определенную степень допущения, так как авторами были выбраны только семь параметров для ее проведения.

Представленный метод дает возможность производить системный анализ сложных систем управления, составленных из разнотипного оборудования, по значительно большему количеству параметров.

Развитие представленного метода оценки позволит осуществлять

анализ эффективности сложных, крупных систем управления, составленных из разнотипного оборудования. Например, возможно рассмотреть систему, у которой нижний уровень АСУ ТП для управления задвижками или группой насосов составлен на основе оборудования производителя ОВЕН, а верхний уровень представляет собой SCADA-систему на базе Siemens.

Развитием метода оценки суммарной эффективности ПЛК ведущих производителей является применение методов численного интегрирования [10].

Процесс импортозамещения особенно актуален по причине ухода зарубежных компаний с отечественного рынка. Существуют трудности не только с закупкой востребованных ПЛК, таких, как *Siemens*, *DeltaV*, но и с обслуживанием распределенных широкомасштабных технических систем, включающих эти ПЛК. В то же время на рынке существуют устройства отечественных производителей, характеристики которых практически не уступают характеристикам контроллеров зарубежных производителей (см. табл.3).

На данный момент множество предприятий эксплуатирует системы, процесс работы которых построен на устройствах фирм *Siemens* и *Yokogawa*. Поэтому при реализации политики импортозамещения и переходе на ПЛК АБАК или ОВЕН особое внимание нужно уделить тому, что переход может сопровождаться вынужденным простоем оборудования во время пуско-наладочных работ. Решением данной проблемы может стать постепенный переход к новой системе управления, построенной исключительно на базе отечественных ПЛК. Постепенный, поэтапный переход возможен, так как ПЛК разных производителей обеспечивают возможность связи между собой. Взаимно поддерживаемые протоколы передачи сигналов модулей установленного CPU и модулей ввода-вывода представлены в таблице 4.

---

Таблица 4

## Поддерживаемые протоколы передачи сигналов

|          | <i>ModbusT<br/>CP</i> | <i>ModbusR<br/>TU</i> | <i>EtherNet/I<br/>P</i> | <i>PROFIBU<br/>S</i> | <i>ModBus-ASCII</i> |
|----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|---------------------|
| АБАК     | +                     | +                     | +                       | -                    | -                   |
| Siemens  | +                     | +                     | +                       | +                    | -                   |
| Yokogawa | +                     | +                     | +                       | -                    | -                   |
| ОВЕН     | +                     | +                     | -                       | -                    | +                   |

Очевидно, что по таким протоколам как *ModbusTCP* и *ModbusRTU* можно внедрить отечественные контроллеры в производства, работающие на зарубежном ПЛК без перерыва в работе оборудования. Данный процесс уже происходит, к примеру, на объектах нефтегазовой отрасли. С другой стороны, постепенный переход на новые конфигурации систем автоматизации или же их модернизация потребует дополнительных работ по настройке контроллеров и логики. Кроме того, необходим персонал, квалификация которого позволит осуществить перенастройку. Взаимная интеграция систем также позволит выявить слабые стороны изменяемых систем, что дает возможность улучшения оборудования САУ и способствует в дальнейшем выходу отечественных контроллеров на лидирующие позиции на мировом рынке.

### Литература

1. Алексеев А.В., Карпов А.Е., Тычинин И.Ю., Потехин В.С. Системное и технологическое развитие: от квалиметрии моделей и полимодельных комплексов к синтетической квалиметрии // Труды Крыловского государственного научного центра. 2021. №S1. URL: [cyberleninka.ru/article/n/sistemnoe-i-tehnologicheskoe-razvitie-ot-kvalimetrii-modeley-i-polimodelnyh-kompleksov-k-sinteticheskoy-kvalimetrii](http://cyberleninka.ru/article/n/sistemnoe-i-tehnologicheskoe-razvitie-ot-kvalimetrii-modeley-i-polimodelnyh-kompleksov-k-sinteticheskoy-kvalimetrii).

2. Цыпленков С.В., Агафонов Е.Д. Концепция комплексной системы контроля энергоэффективности механизированной добычи нефти // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. №4. URL: [cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-kompleksnoy-sistemy-kontrolya-energoeffektivnosti-mehanizirovannoy-dobychi-nefti](http://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-kompleksnoy-sistemy-kontrolya-energoeffektivnosti-mehanizirovannoy-dobychi-nefti).

3. Xiao Y., Shi L., Zhou W., Wan F., Liu, W. 2021. Application of embedded soft plc in the control system of rapier loom // PLoS One, 2021, 16(9), e0257629. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257629>.

4. Кусакина М. С., Нетес В. А. Проблемы обеспечения надежности программно-конфигурируемых сетей. // Телекоммуникации и информационные технологии. 2019. Том 6. Номер 1. Стр. 39-43. URL: [elibrary.ru/item.asp?edn=gifczy](http://elibrary.ru/item.asp?edn=gifczy).

5. Грачева Е. И., Садыков Р. Р., Хуснутдинов Р. Р., Абдуллазянов Р. Э. Исследование параметров надежности низковольтных коммутационных аппаратов по эксплуатационным данным промышленных предприятий // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2019. №1-2. URL: [cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-parametrov-nadezhnosti-nizkovoltnyh-kommutatsionnyh-apparatov-po-ekspluatatsionnym-dannym-promyshlennyh-predpriyatii](http://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-parametrov-nadezhnosti-nizkovoltnyh-kommutatsionnyh-apparatov-po-ekspluatatsionnym-dannym-promyshlennyh-predpriyatii).

6. Петров И. В. Программируемые контроллеры // Стандартные языки и приемы прикладного программирования. Серия "Библиотека инженера". Солон-пресс. 2004. С. 254.

7. Сафаров И. М., Хаматханов Д. И., Калимуллин А. А. Автоматизированная система управления параметрами теплоносителя с удаленным доступом // Инженерный вестник Дона, 2018, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/4912](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/4912).

8. Cencetti G., Bagnoli F., Battistelli G., Chisci L., Fanelli D. Control of multidimensional systems on complex network // PLoS One, 2017, 12(9),

---

e0184431. URL: [doi.org/10.1371/journal.pone.0184431](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184431).

9. Сафаров И. М., Набиуллин Б. К., Сафиуллина Г. М. Автоматизация расчета передаточных функций АСУ методом не касающихся контуров // Инженерный вестник Дона, 2020, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2020/6435](https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2020/6435).

10. Лизунов И. Н., Васев А. Н., Мисбахов Р. Ш., Федотов В. В., Хузиахметова, Э. А. Технологии передачи данных в современных системах релейной защиты и автоматики и их показатели качества // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017, 19(1-2), 52-63. URL: [doi.org/10.30724/1998-9903-2017-19-1-2-52-63](https://doi.org/10.30724/1998-9903-2017-19-1-2-52-63).

### References

1. Alexeev A.V., Karpov A.E., Tyshinin I.Yu., Potehin V.S. Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra. 2021. S1. URL: [cyberleninka.ru/article/n/sistemnoe-i-tehnologicheskoe-razvitie-ot-kvalimetrii-modeley-i-polimodelnyh-kompleksov-k-sinteticheskoy-kvalimetrii](https://cyberleninka.ru/article/n/sistemnoe-i-tehnologicheskoe-razvitie-ot-kvalimetrii-modeley-i-polimodelnyh-kompleksov-k-sinteticheskoy-kvalimetrii).

2. Tsyplenkov S.V., Agafonov, E.D. Izvestiya vuzov. Problemy energetiki. 2021. 4. URL: [cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-kompleksnoy-sistemy-kontrolya-energoeffektivnosti-mehanizirovannoy-dobychi-nefti](https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-kompleksnoy-sistemy-kontrolya-energoeffektivnosti-mehanizirovannoy-dobychi-nefti).

3. Xiao Y., Shi L., Zhou W., Wan F., Liu W. (2021). PLoS One, 2021, 16(9), e0257629. URL: [doi.org/10.1371/journal.pone.0257629](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257629).

4. Kusakina M.S., Netes V.A. Telekommunikacii i informacionnye tehnologii. 2019. Vol. 6, No. 1, Pp. 39-43. URL: [elibrary.ru/item.asp?edn=gifczy](https://elibrary.ru/item.asp?edn=gifczy).

5. Gracheva E.I., Sadykov R.R., Khusnutdinov R.R., Abdullazyanov R.E. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki. 2019, № 21(1-2). URL: [cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-parametrov-nadezhnosti-nizkovoltnyh-kommutatsionnyh-apparatov-po-ekspluatatsionnym-dannym-promyshlennyh-predpriyatii](https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-parametrov-nadezhnosti-nizkovoltnyh-kommutatsionnyh-apparatov-po-ekspluatatsionnym-dannym-promyshlennyh-predpriyatii).

---



6. Petrov I.V. Programmiruemye kontrollery. Standartnye yazyki i priemy prikladnogo programmirovaniya. Seriya "Biblioteka inzhenera". [Programmable controllers. Standard languages and techniques of application programming. Series "Engineer Library"]. Solon-Press. 2004. P. 254.
7. Safarov I. M., Khamatkhanov D. I., Kalimullin A. A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №2. URL: [ivdon.ru/en/magazine/archive/n2y2018/4912](http://ivdon.ru/en/magazine/archive/n2y2018/4912).
8. Cencetti G., Bagnoli F., Battistelli G., Chisci L., Fanelli D. PLoS One, 2017, 12(9), e0184431. URL: [doi.org/10.1371/journal.pone.0184431](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184431).
9. Safarov I. M., Nabiyullin B. K., Safiullina G. M. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020. № 4. URL: [ivdon.ru/en/magazine/archive/n4y2020/6435](http://ivdon.ru/en/magazine/archive/n4y2020/6435).
10. Lizunov I. N., Vasev A. N., Misbahov R. Sh., Fedotov V. V., Khuziakhmetova E. A. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki. 2017. 19(1-2). Pp. 52-63. URL: [doi.org/10.30724/1998-9903-2017-19-1-2-52-63](https://doi.org/10.30724/1998-9903-2017-19-1-2-52-63).