
Комплексный критерий оценки эффективности программируемых логических контроллеров

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

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

Аннотация: Выбор оборудования технологических предприятий, особенно, когда характеристики оборудования близки по значениям, остается актуальной задачей. В нашей работе для оценки эффективности программируемых логических контроллеров (ПЛК) предложен комплексный критерий оценки эффективности, а также методика его расчета при помощи численных методов. Для расчета комплексного критерия эффективности, значения выбранных нами значимых характеристик контроллеров преобразуются в баллы по линейной шкале. Для уточнения результатов расчетов мы применили один из численных методов Ньютона-Котеса, а именно - метод трапеций. Далее мы использовали метод кубического интерполирования полученных кривых для увеличения точности расчетов. Предложенная нами методика проста и не требует большого количества вычислений. В то же самое время, ее применение позволяет проводить расчеты комплексных критериев эффективности ПЛК по характеристикам, значимым для конкретного процесса управления.

Ключевые слова: программируемый логический контроллер, характеристики, численные методы, метод трапеций, метод кубического интерполирования, комплексирование характеристик, ПЛК АБАК, ПЛК Siemens, ПЛК ОВЕН.

Введение

Программируемые логические контроллеры (ПЛК) со времени их создания стали неотъемлемой частью оборудования промышленных предприятий. Представить современное производство, которое не использует ПЛК для управления технологическими процессами, наверное, невозможно.

В настоящее время, с учетом ухода с отечественного рынка части производителей и поставщиков оборудования, комплектующих и материалов, решение задач полной автоматизации производства снова стало острым. Построение систем автоматизации на базе современных ПЛК – одно из направлений модернизации промышленных предприятий с целью улучшения условий безопасности и повышения качества процессов.

Производителями ПЛК, широко представленными на рынке, являются, прежде всего, Allen-Bradley, Omron, Schneider Electric, Siemens. А также -

российские фирмы-производители: Контар, Инкомсистем, Овен, Segnetics, Fastwel, Текон.

Таким образом, количество ПЛК, как сильно отличающихся от друг друга по функциональным возможностям и характеристикам, так и практически не имеющих различий, очень велико.

При отсутствии финансовых ограничений и с целью «предупредить» возможные повышения требований к ПЛК в процессе эксплуатации оборудования, некоторые компании выбирают ПЛК с избыточным функционалом. Это не только приводит к удорожанию системы управления, но и повышает требования к квалификации обслуживающего персонала. В связи с этим актуален вопрос выбора эффективного, работоспособного ПЛК, отвечающего условиям технологического процесса и финансовым возможностям заказчика.

Возможность адекватного выбора ПЛК обеспечивает применение математических квалиметрических методов количественной оценки качественных характеристик, потенциально удовлетворяющих требованиям заказчика устройств.

Мы предлагаем методику расчета комплексного критерия эффективности ПЛК, которая позволит уточнить результаты расчетов, представленных нами ранее [1].

Материалы и методы

Программируемые логические контроллеры (ПЛК) являются самостоятельными изделиями. Область их применения – автоматизированные производственные процессы на промышленных предприятиях. ПЛК имеют разветвленный ввод сигналов с датчиков агрегатов различных машин и механизмов. Выходные сигналы ПЛК передаются на исполнительные устройства, формируя управляющие воздействия, а также на устройства отображения информации. ПЛК не являются частью управляемого технологического оборудования. Как

самостоятельное устройство, могут осуществлять большое число разнообразных логических операций. ПЛК работает всегда в контексте конкретного технологического процесса. Конструктивно ПЛК должен выдерживать воздействие возможных неблагоприятных факторов, таких, как загрязненность и запыленность помещения, воздействие высоких или низких температур, высокой влажности, вибрационных и ударных нагрузок, перепадов напряжения питания, при этом сохранять свою работоспособность и надежность. Языки программирования ПЛК должны обеспечивать возможность легкой манипуляции, что отличает их от языков программирования более высоких уровней компьютеров.

При проектировании и построении систем управления применение ПЛК позволяет существенно улучшить качество производства получить ощутимый экономический эффект. Стандартные средства программирования, быстроедействие, системы ввода-вывода сигналов, специализированные интерфейсы в составе одного устройства – все эти характеристики ПЛК позволяют им быть неотъемлемой частью современных автоматизированных систем управления (АСУ) в сфере промышленной автоматизации технологических процессов.

На основании изложенного выше, при выборе ПЛК необходимо учитывать большое число факторов производства, характеристик и особенностей этих устройств. Выбор ПЛК требует методики, которая обеспечивает возможность учитывать большое количество характеристик ПЛК, но при этом остается простой и надежной.

Рассмотрим существующие методики. Методика многокритериальной оценки эффективности вариантов устройств микропроцессоров, описанная в [2], на наш взгляд, содержит большой объем математических расчетов с использованием методов математической статистики. В работе [3] Климов Е.Н. предлагает вводить классификацию значимых параметров по определенным признакам, а также производить комплексирование

показателей качества и надежности в различных сочетаниях. Не смотря на то, что метод предлагается автором для количественной оценки машин и агрегатов судов, этот подход может быть интегрирован и в другие области исследований. В работе [4] авторы предлагают применять многокритериальный подход при осуществлении выбора многопараметрического оборудования. При этом формируется несколько вариантов комплексных критериев. Далее из них выбирается наиболее значимый, по которому проводится количественная оценка.

Классификация свойств оцениваемых объектов, единичные и комплексные показатели качества, связь между параметрами качества, теоретические и практические вопросы оценки освещаются в работе [5]. Интересно, что оценка качества цифровых автоматических устройств производится уже не одно десятилетие многими исследователями [6]. И методы оценки постоянно совершенствуются, путем интеграции и уже существующих методик, и инновационных.

В свою очередь мы предложили достаточно простую методику количественной оценки для сравнения ПЛК различных фирм-производителей на этапе его выбора [1]. В нашей работе рассмотрены ПЛК *Siemens*, *Yokogawa*, ОВЕН, АБАК, то есть фирм, ПЛК которых широко применяются на российских промышленных предприятиях. Мы провели расчет так называемой «суммарной эффективности» ПЛК, которая включает комплексную оценку по наиболее значимым для потребителя характеристикам. Нами были выбраны средняя наработка на отказ, количество интерфейсов и подключаемых модулей, потребляемая мощность, температурный диапазон, используемые протоколы и скорость отклика.

Возможность соотнесения таких абсолютно разных по своему качеству характеристик мы обеспечили введением реперной линейной шкалы [7]. При помощи линейного шкалирования значения характеристик мы перевели в оценочные баллы, представленные в таблице 1, что подробно описано в [1].

Таким образом, в результате очень простых расчетов, мы получили суммарное количество баллов по каждому ПЛК.

Таблица 1

Оценка значений характеристик 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
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	7 ¹	5
7	Скорость отклика, мс	4	5	4	3
	Сумма баллов	32	29	28	22

Недостатком нашей методики является невысокая точность оценки. Но ее можно повысить, если предпринять следующие действия:

- увеличить количество характеристик, применяемых для оценки;
- принимать к рассмотрению характеристики ПЛК, значимые для конкретного технологического процесса;
- рассматривать несколько комплексов характеристик, проводя оценку по каждому из них с последующим сопоставлением результатов расчетов;
- применить методы численного интегрирования для повышения точности оценки.

Таким образом, мы можем перейти от понятия суммарной эффективности к комплексному критерию оценки эффективности ПЛК.

¹Перерасчет количества протоколов выполнен на основе руководства пользователя для продукта Yokogawa FA-M3.

Численные методы позволяют решать различные прикладные задачи без применения аналитических методов. Использование современных компьютерных программ существенно уменьшает трудоемкость расчетов.

В своей работе для расчета комплексного критерия эффективности ПЛК мы применили один из методов Ньютона-Котеса, а именно - метод трапеций. Геометрическая интерпретация интегрирования по методу трапеций представлена на рис. 1 [8]. Кроме метода трапеций, методы Ньютона-Котеса включают методы прямоугольников и Симсона. Погрешность выбранного нами метода выше, чем у метода средних прямоугольников. Но, при решении нашей прикладной задачи, отсутствует возможность найти среднее значение на элементарном интервале разбиения области интегрирования по горизонтальной оси. Метод средних прямоугольников требует аналитического описания функции, в то время как в своей работе мы используем табличные данные [9].

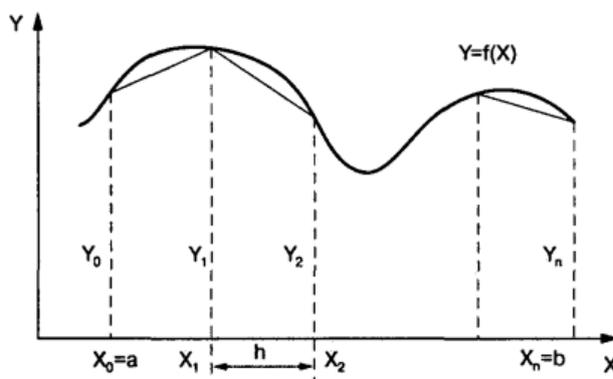


Рис. 1. Геометрическая интерпретация интегрирования по методу трапеций

На основании оценочных значений семи выбранных нами характеристик ПЛК, приведенных в таблице 1, построим график (рис. 2) в прямоугольной системе координат, где по оси абсцисс – характеристика ПЛК, а по оси ординат – оценка этой характеристики в баллах, согласно шкале, приведенной в таблице 1.

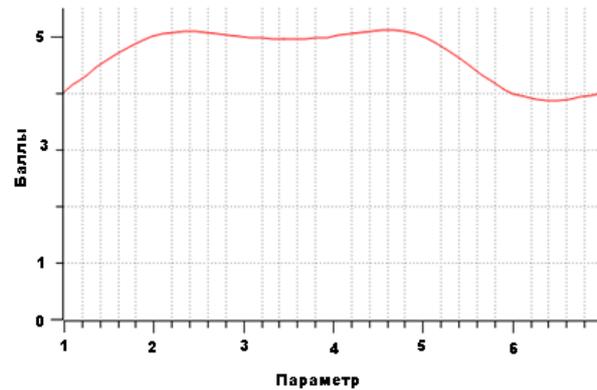


Рис. 2. Результаты построения кривой методом трапеций для ПЛК АБАК

Согласно принципу метода трапеций, увеличение количества выбранных для определения комплексного критерия характеристик, то есть на нашем графике точек на оси абсцисс, повышает точность построения криволинейной трапеции.

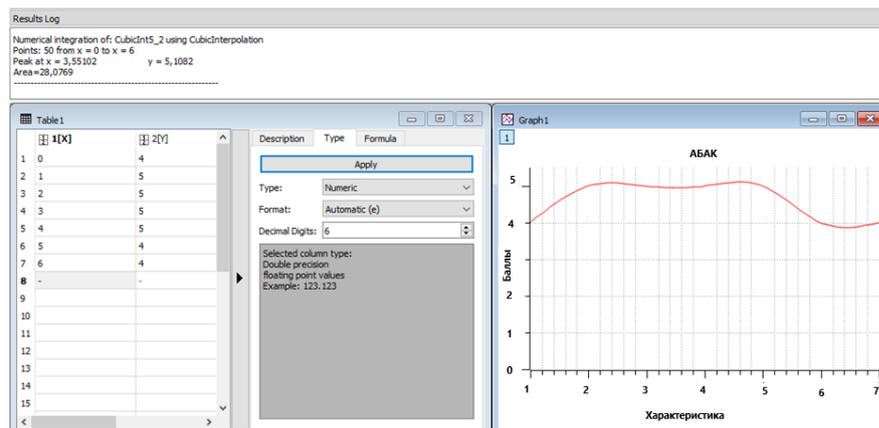


Рис. 3. Результаты построения оценочной кривой для ПЛК АБАК

Кроме этого, для повышения точности оценки мы применили метод кубического интерполирования кривой при помощи программы *SkiDAVis* [10]. Алгоритм проводит вычисления в каждой очередной точке значений функции $f(x)$ и её производной $f'(x)$ [11]. Применение этого метода позволило получить 50 точек для построения кривой на координатной плоскости. Также мы определили площадь криволинейной трапеции под уточненной кривой путем интегрирования методом трапеций. На рисунках 3-6 представлены результаты расчета и построения оценочных кривых.

Программа *SkiDAVis* позволяет также рассчитать площадь криволинейной трапеции, которая для ПЛК АБАК составляет 28,0769.

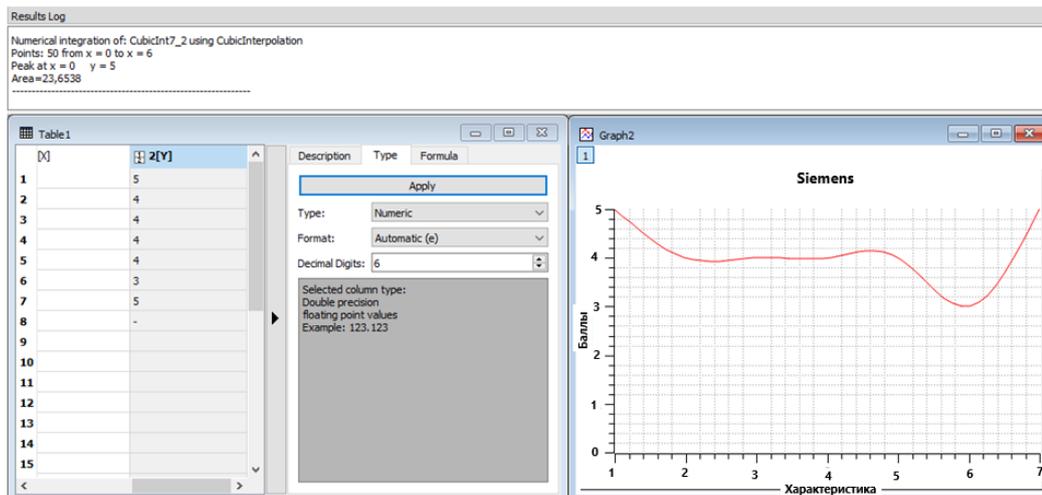


Рис. 4. Результаты построения оценочной кривой для ПЛК Siemens

Площадь криволинейной трапеции для ПЛК Siemens составляет 23,6538.

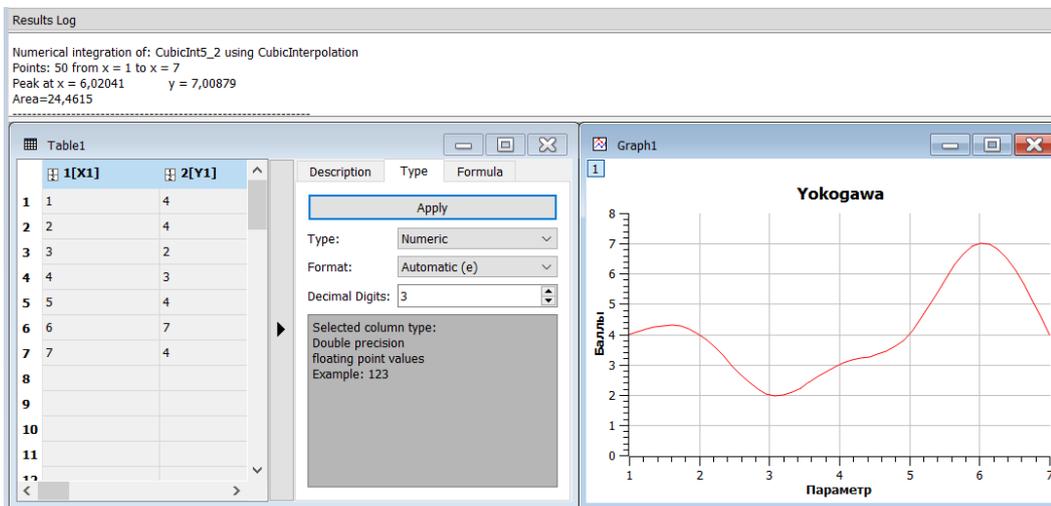


Рис. 5. Результаты построения оценочной кривой для ПЛК Yokogawa

Площадь криволинейной трапеции для ПЛК Siemens составляет 23,6538.

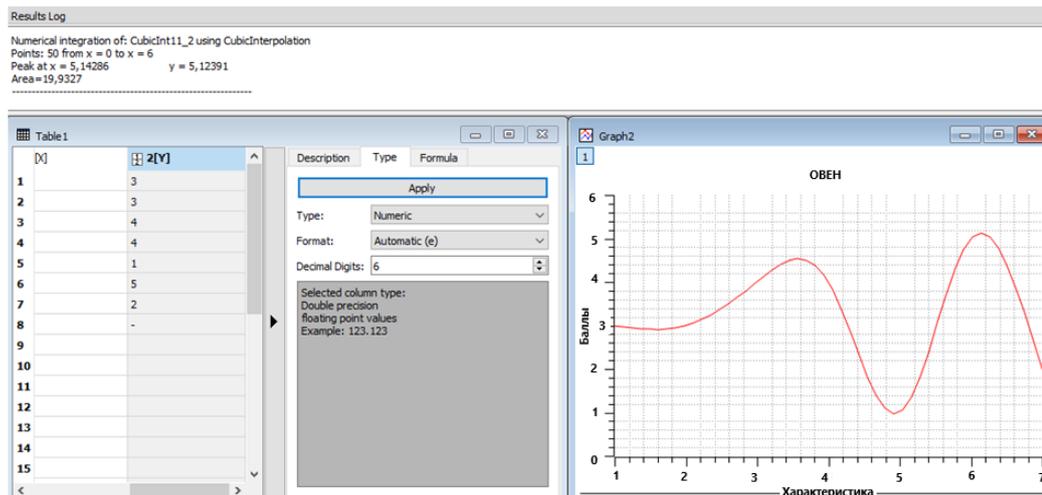


Рис. 6. Результаты построения оценочной кривой для ПЛК ОВЕН

Результаты и обсуждения

Значения площадей криволинейных трапеций, количественно выражающие комплексный критерий эффективности ПЛК фирм-производителей *Siemens*, *Yokogawa*, ОВЕН, АБАК, приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Значение комплексного критерия эффективности для ПЛК фирм-производителей *Siemens*, *Yokogawa*, ОВЕН, АБАК

№ п/п	Производитель ПЛК	Суммарная эффективность ПЛК методом трапеций
1	АБАК	28,0769
2	<i>Yokogawa</i>	24.4615
3	<i>Siemens</i>	23,6536
4	ОВЕН	19,9327

По результатам количественной оценки комплексного критерия эффективности ПЛК, представленной в таблице 2 можно сделать следующие выводы:

1. Максимальную площадь криволинейной трапеции, построенной на основании количественной оценки комплексного критерия эффективности по выбранным нами семи характеристикам, имеет ПЛК АБАК.

2. Результаты вычислений получены с учетом опосредованно

выбранных значимых характеристик ПЛК. Представленная нами методика оценки дает возможность производить системный анализ по значительно большему количеству характеристик.

3. Исходя из алгоритма метода криволинейных трапеций, определение значения комплексного критерия эффективности может быть произведено с большей точностью, если изменение характеристик ПЛК возможно задать функциональными зависимостями.

4. Вычисление комплексного критерия эффективности возможно по разным группам значимых характеристик, то есть критерии эффективности являются «подвижными». Производить комплексирование характеристик ПЛК необходимо, исходя из требований конкретного технологического оборудования на этапе выбора ПЛК. Это повысит значимость применения предложенной нами методики.

5. Развитие предлагаемой нами методики расчета предполагает построение диаграмм для рассматриваемых ПЛК по выбранным характеристикам и сравнение их с некой диаграммой «идеального ПЛК». В этом случае возможно рассчитать, как приближение диаграммы оцениваемого с точки зрения комплексного критерия эффективности ПЛК к идеальной, так и удаление, несовпадение ее с идеальной.

Заключение

В заключение необходимо отметить, что выбор ПЛК остается важным этапом при построении автоматизированных систем управления технологическими процессами. Работоспособность ПЛК – залог безопасной и качественной работы производственной установки.

В литературе довольно широко описаны методики оценки различных технических систем, отдельных устройств, процессов, продукции и т.д. Предлагаемая нами методика не содержит сложных расчетов и позволяет за короткое время произвести адекватную оценку ПЛК по основным значимым для данного процесса характеристикам на основании вычисления значения

комплексного критерия эффективности.

С другой стороны, качество оценки несомненно необходимо повышать путем комплексирования характеристик ПЛК по определенным признакам. Комплексы характеристик можно создавать, например, исходя из условий и особенностей эксплуатации ПЛК. Также, при выборе ПЛК, в один из комплексов характеристик можно включить стоимость ПЛК в данный период времени.

Повышение точности оценки с применением комплексов различных характеристик ПЛК является одним из направлений развития данной методики расчета. В качестве второго варианта развития методики мы видим сравнение диаграммы оцениваемого ПЛК с диаграммой «идеального ПЛК».

Литература

1. Сафаров И. М., Богданова Н. В., Латыпов Т. И. Оценка суммарной эффективности программируемых логических контроллеров с целью реализации политики импортозамещения // Инженерный вестник Дона, 2023, №7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2023/8563

2. Халезин Ф. Ю. Применение метода квалиметрии при оценке эффективности микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики // Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи. 2016. С. 242-245.

3. Климов Е. Н., Логинов О. В. Основы методики системно-квалиметрического анализа и сравнительной оценки качества главных судовых дизельных энергетических установок // Труды международного научно-технического семинара "Исследования, проектирование и эксплуатация судовых ДВС" /под ред //ОК Безюкова. СПб: ПаркКом. – 2006. – С. 99-104.

4. Ожогова Е.В., Лубенцова Е.В., Лубенцов В.Ф., Левченко В.И. многокритериальный выбор оптимального комплекса программных средств

для управления технологическим оборудованием // Современные наукоемкие технологии. 2022. №10. С. 25-31.

5. Argotti Y., Baron C., Esteban P. Quality quantification in systems engineering from the qualimetry eye // 2019 IEEE International Systems Conference (SysCon). IEEE, 2019. pp. 1-8.

6. Дроздов Е. А. Об оценке качества цифровых автоматов. — В кн.: Цифровая вычислительная техника и программирование. Вып. I. М., 1966, с. 49—58.

7. Козлов В. Е. Математическое обеспечение обработки рейтинговой информации в задачах экспертного оценивания // Мир измерений. 2012. №. 9. С. 42-49.

8. Стародубцев В. В. Моделирование достоверности и точности импульсного воздействия в упругой полуплоскости с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В. К // Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем. 2017. С. 339-341.

9. Иванова Т.В. Численные методы в оптике: учебное пособие / СПб: ИТМО, 2017 - 84 с.

10. 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 16(9): e0257629. URL: doi.org/10.1371/journal.pone.0257629

11. Бахвалов Н. С., Жидков Н. П., Кобельков Г. М. Численные методы. 8 изд. Москва: БИНОМ, 2015. URL: csc-knu.github.io/numerical-analysis/books/bahvalov-zhidkov-kobelkov-2015.pdf С. 36-42.

References

1. Safarov I. M., Bogdanova N. V., Latypov T. I. Inzhenernyj vestnik Dona, 2023, №7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2023/8563

2. Halezin F. Ju. Jenergetika, jelektromehanika i jenergojeffektivnye tehnologii glazami molodezhi. 2016. pp. 242-245.
3. Klimov E. N., Loginov O. V. Trudy mezhdunarodnogo nauchno-tehnicheskogo seminaru "Issledovanija, proektirovanie i jekspluatacija sudovyh DVS". St. Petersburg: ParkKom. 2006. pp. 99-104.
4. Ozhogova E.V., Lubencova E.V., Lubencov V.F., Levchenko V.I. Sovremennye naukoemkie tehnologii. 2022. №10. pp. 25-31.
5. Argotti Y., Baron C., Esteban P. Quality quantification in systems engineering from the qualimetry eye. 2019 IEEE International Systems Conference (SysCon). IEEE, 2019. pp. 1-8.
6. Drozdov E. A. Cifrovaja vychislitel'naja tehnika i programmirovanie [The evaluation of the quality of digital machines]. Moscow, 1966. pp. 49—58.
7. Kozlov V. E. Mir izmerenij. 2012. №. 9. pp. 42-49.
8. Starodubcev V. V. Informacionno-telekommunikacionnye tehnologii i matematicheskoe modelirovanie vysokotehnologichnyh system. 2017. pp. 339-341.
9. Ivanova T.V. Chislennye metody v optike. T.V. Ivanova; St. Petersburg: ITMO, 2017 - 84 pp.
10. 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 16(9): e0257629. URL: doi.org/10.1371/journal.pone.0257629
11. Bahvalov N. S., Zhidkov N. P., Kobel'kov G. M. Chislennye metody. 8 ed. M.: BINOM, 2015. URL: csc-knu.github.io/numerical-analysis/books/bahvalov-zhidkov-kobelkov-2015.pdf. pp. 36-42.