

КОНЦЕПТУАЛИЗАЦИЯ КАЧЕСТВА В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Бурый А.С., д-р техн. наук, ФГБУ «Институт стандартизации», Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

Морин Е.В., канд. техн. наук, ФБУ «Ростест-Москва»

Современные тенденции в разработке отечественных программных средств характеризуются временными ограничениями, ориентацией на кроссплатформенность, адаптивность в проектировании и визуальный интерфейс. Существующая система стандартов по обеспечению качества программных продуктов построена с учетом разработки, проверки, аттестации и применения (эксплуатации) программных средств. Стремление обеспечить компромисс между показателями качества программ, внешними факторами и требованиями, временными ограничениями и стоимостью отражаются в выборе метрик и соответствующих инструментов анализа, способных минимизировать возможные дефекты, свойственные процессу разработки. Целью настоящей работы является разработка подходов к методике формирования инструментария в рамках метрологического обеспечения испытаний программных средств. Предлагается рассмотреть понятие качества программных средств на целевом, сущностном, функциональном и системном уровнях соответствующих информационных систем, для решения задач которых разрабатывается данное программное обеспечение.

Ключевые слова: качество программного продукта, метрики качества, испытания программных средств, многопризнаковые объекты, метрология программного обеспечения.

ВВЕДЕНИЕ

Непрерывное повышение сложности функций, реализуемых программами в информационных системах, непосредственно связаны с увеличением их объема и трудоемкости программирования. Разработка многофункциональных программных комплексов не свободна от дефектов различного класса [1, 2], которые приводят к сбоям и отказам в функционировании соответствующих информационных систем, занятых в контурах управления важных объектов, отказоустойчивость большинства из которых направлена на структурную, функциональную, техническую и алгоритмическую устойчивость [3, 4].

Эффективность современных информационных систем и технологий, в том числе и автоматизированных информационно-управляющих систем (АИУС) [5], в которых функции управления (частично или полностью) выполняет человек-оператор, на прямую зависит от качества их программного обеспечения. Программные средства активно используются во всех подсистемах АИУС на этапах пе-

реработки информации, поиска и отображения результатов анализа, формирования баз данных и знаний (БДЗ).

Экономическая ситуация обычно является вторичной по отношению к политической обстановке. Сегодня многие IT-тренды (Интернет вещей, блокчейн и некоторые другие) уступили место технологиям, направленным на обеспечение функциональности критической инфраструктуры. Кроме того, уход с рынка зарубежных поставщиков программного обеспечения (ПО)¹ открыл перспективы для отечественного технологического суверенитета в области ПО. Постоянный спрос на качественные программные продукты приводит к необходимости его разработки, испытания и внедрения, нередко, в более сжатые сроки. Вот почему вопросы развития механизмов и инструментов совершенствования организационного обеспечения и информационного взаимодействия в ходе разработки программных средств сохраняет свою актуальность [6, 7],

¹ ГОСТ Р 59853–2021. ИТ. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения. (Введ. 2022-01-01), (п. 2).

опираясь все чаще на когнитивные методы анализа слабо-структурируемых данных и факторов, влияющих на формирование качественного ПО [8].

СУЩНОСТЬ ПОНЯТИЯ КАЧЕСТВА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ

Обычно под «качеством» понимается свойство/свойства продукта, процесса или услуги удовлетворять требованиям потребителей. Когда рассматривается процесс функционирования информационных систем или технического комплекса значительно увеличивается число свойств, требующих оценки, а степень их качества чаще всего сравнивается с требованиями нормативных документов (техническим заданиям на разработку, ГОСТам и др.). Качество информационной продукции можно оценить через количественные изменения их свойств в ходе проводимых испытаний [1, 6].

Цель испытаний любого уровня – это повышение качества изделия, так как непринятые меры по доработке программных средств, с течением времени, приводят к новым дефектам (сбоям) и ошибкам в программах, что демонстрируется на рисунке 1 [9].

Для водопадной модели ЖЦ зависимости (рис. 1) соответствуют различным этапам разработки программных средств (ПС), причем поиск дефектов и ошибок, ввиду постоянного совершенствования информационных систем и процессов, не теряет своей актуальности. Так дефекты, не обнаруженные на этапе формирования требований (кривая 1, на рис. 1) в итоге для разработчика становятся самыми «дорогими». Кривые 2, 3, 4 соответствуют этапам проектирования, программирования и тестирования. Заметного сокращения числа ошибок программ можно достигнуть за счет структурирования модельных ситуаций, сценариев модулируемых процессов, модельного представления (выбора модели решения задачи), от сложности которых зависит алгоритмическое представление, т.е. реализация конечной программы [10].

По аналогии с качеством продукции, под качеством данных понимают «совокупность их свойств, обуславливающих их пригодность удовлетворять определенные потребности» [11]. По своей сути данные являются продуктом информационных систем, а также формой представления информации в них, поэтому уместно, в этой связи, отметить понятие качества информации, как совокупность свойств содержательной информации, характеризующих степень ее соответствия потребностям (целям, ценностям).

Потребительскими показателями качества информации, наряду с ценой, содержанием, доступностью, точностью, выступают показатели, свойственные этапам переработки информации. Так для этапа сбора, первичной обработки данных важны характеристики репрезентативности, до-

стоверности, на этапе передачи данных – параметры актуальности, устойчивости, а для этапа применения информации – параметры полезности и прагматические свойства, например удовлетворенность пользователя полученной информацией по сделанному запросу [11, 12].

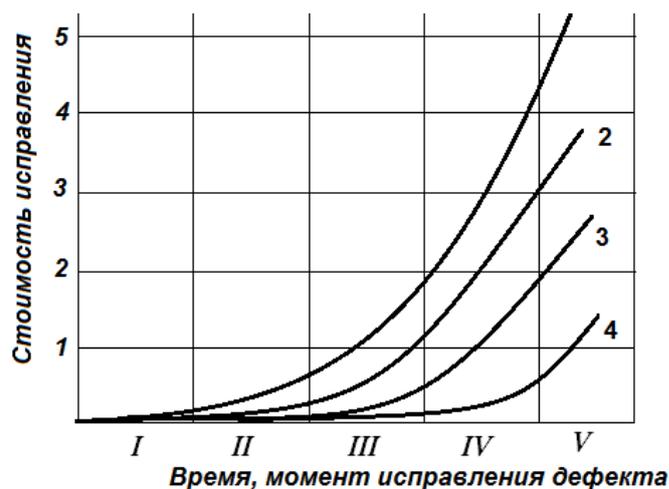


Рис. 1. Качественные зависимости кратности стоимости исправления дефектов программ на этапах разработки ПС: I – сбор требований; II – проектирование; III – программирование; IV – интегрированное тестирование; V – системное тестирование (данные по работе [9])

Применительно к вычислительной технике информация представляется в виде данных, физическая форма которых – это текстовые, программные (на языках моделирования), видео-, аудио- и другие файлы. При этом понятие качества данных, с точки зрения технологии использования ПС в составе ПО, есть «степень, с которой характеристики данных удовлетворяют заявленным и подразумеваемым требованиям при использовании в заданных условиях»².

Непосредственно на улучшение качества данных направлен рефакторинг – реструктуризация схемы БДЗ, способствующая улучшению качества информации, хранимой в БДЗ при сохранении функциональной и информационной семантики. Например, изменение форматов данных, улучшение представления данных, перемещения данных, перегруппирование в таблицах и другие незначительные преобразования.

Таким образом, трактовка понятия «качества» может рассматриваться на нескольких уровнях [7]: 1) на целевом уровне, когда преобразования направлены на повышение

² ГОСТ Р ИСО/МЭК 25021–2014. Информационные технологии. Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения (SQuaRE). Элементы показателя качества. – (Введ. 2015-06-01); п. 4.1.

эффективности технологических решений, за счет организационного, структурного или функционального развития и совершенствования объектов; 2) на сущностном уровне, когда исследуются конкретные признаки, свойства, структурные особенности, характеристики объектов, в частности, программных средств; 3) на функциональном уровне, на котором идентифицируются информационные технологии и процессы управления и переработки информации, соответствующие основным подсистемам АИУС; 4) на общесистемном уровне, при этом рассматривается взаимодействие с другими системами окружающей среды, когда оценивается качество информационной системы в целом и анализируются ее ценности (рис. 2).



Рис. 2. Свойства составного понятия качества информационной системы

Представленные четыре уровня, на наш взгляд, позволяют увязать, например, сущностные признаки объекта с технологиями. Так базы данных и, соответственно, системы управления БДЗ напрямую связаны с алгоритмами и машинными программами, реализующими их функции. Поэтому большинство свойств, характеризующих качество ПС, может быть применимо для оценки качества объектов, которые составляют предмет исследования каждого последующего уровня, из числа представленных на рисунке 2. Так, для оценки формально-технических свойств информационных систем актуальны свойства безошибочности, оперативности, целостности и полноты [13], составляющих понятие содержательной информации – важнейшей части информации при рассмотрении вопросов документирования или создания БДЗ.

Оценка качества ПС на функциональном уровне осуществляется по следующим направлениям:

- оценка структурной сложности программ;
- оценка надежности программного обеспечения, позволяющая прогнозировать отказы ПС;
- оценка производительности ПО и повышение его эффективности путем выявления ошибок проектирования;

- оценка уровня языков программирования и их синтаксиса;
- оценка структур программ, порядка их сопровождения и модифицирования.

МЕТРОЛОГИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Относительно новым и весьма актуальным направлением метрологии является технология разработки, производства, испытания и применения программных средств. Основное предназначение метрологии ПО – это обоснование и поддержание заданного уровня качества программ [1, 14].

Метрики качества программ целесообразно рассматривать как систему измерений качества программ, проводимых на уровне отдельных характеристик программ (свойств, признаков).

Метрики обеспечивают измерения определенных свойств (признаков качества) программ: сложности, тестируемости, сопровождаемости, трудоемкости программирования, достоверности и точности, ресурсоемкости, стоимости разработки и ряда других [14]. Метрика ПО представляет собой числовую характеристику некоторого свойства программы.

Применительно к общему подходу к трактовке понятия «качества» метрика – это материальная мера некоторых аспектов качества, реализуемая, как способ назначения определенного значения с использованием методов измерения или тестирования для количественной оценки объекта качества с точки зрения таких характеристик качества, как шкала, критерий, степень, отношение или утвержденная норма и т.д.³

В таблице 1 представлены основные классы метрик для оценки программных продуктов (ПП), в виде размерноориентированных и функционально-ориентированных, приведены их достоинства (Д) и недостатки (Н).

Под LOC-оценками понимается количество строк в программном продукте.

В итоге на предварительном этапе (при подготовке к тестированию) заданного типа ПП формируются требования к тестируемому объекту, которые играют роль образца – эталона продукта, с которым, по сути, будет сравниваться тестируемый объект (программное средство) в ходе сертификационных испытаний.

Исходя из существующих наборов признаков, атрибутов программных конструкций и методик их определения для

³ ГОСТ Р 54837–2011. Информационные технологии. Обучение, образование и подготовка. Менеджмент качества, обеспечение качества и метрики. Часть 3. Эталонные методы и метрики. – (Введ. 2011-12-13); (п. 4.4).

Таблица 1

Классы метрик для оценки параметров программных продуктов

КЛАССЫ МЕТРИК	ПОКАЗАТЕЛИ	РЕАЛИЗАЦИЯ	ДОСТОИНСТВА / НЕДОСТАТКИ
Размерно-ориентированные (Lines of Code – LOC-оценки)	$\text{Производительность} = \frac{\text{Длина} \left[\frac{\text{тыс. LOC}}{\text{чел. -мес}} \right];}{\text{Затраты}}$ $\text{Удельная стоимость} = \frac{\text{Стоимость} \left[\frac{\text{тыс. руб.}}{\text{LOC}} \right];}{\text{Длина}}$ $\text{Документированность} = \frac{\text{Страниц Документа} \left[\frac{\text{Страниц}}{\text{тыс. LOC}} \right]}{\text{Длина}}$	Прямо измеряют ПП и процесс его разработки	Д: широко распространены и легко вычисляются; Н: зависят от языка программирования; часто исходные данные отсутствуют на начальной стадии; не приспособлены к непроцедурным языкам программирования
Функционально-ориентированные (функциональный размер – FP – functional points)	Использование интерфейса; Сложность обработки; Распространенность используемой конфигурации; Условия эксплуатации	Косвенно измеряют ПП и процесс его разработки	Д: не зависят от языка программирования; легко вычисляются на любой стадии проекта; Н: результаты основаны на субъективных данных, используются косвенные измерения

каждого типа программных средств⁴, можно утверждать о многопризнаковых объектах, причем различные признаки могут использовать различные метрики, и, соответственно, шкалы для их измерения и оценки [15].

При выборе метрики по оценке качества ПО следует руководствоваться следующими правилами [16]:

- метрики должна иметь смысловую нагрузку, понятную как заказчику, так и исполнителю (проектировщику или разработчику ПО);
- они должны быть просты, объективны, легко интерпретироваться;
- их сбор может быть автоматизирован, не нарушая нормальной работы в ходе целевого использования;
- метрики должны обеспечивать получение непротиворечивых оценок на протяжении всего жизненного цикла изделия, а также показывать тенденции при переходе от версии к версии.

В таблице 2 представлены особенности по реализации шкал применительно к типам шкал, используемым при оценке качества программных средств. Шкала представляет собой упорядоченный набор значений, непрерывный или дискретный,

или набор категорий, на которых отображается атрибут⁵. Абсолютная шкала, шкала разностей (интервальная) и шкала отношений объединяются в класс метрических шкал. С их помощью определяют количественные показатели.

Для качественного анализа свойств (признаков) программной продукции в основном используют порядковые, и шкалы наименований. Если для шкалы наименований свойственна оценка типа «да» - «нет», то порядковая шкала дает возможность ранжировать элементы и упорядочивать их по определенным принципам. Шкала разностей, или интервалов широко применяется как при измерении ряда физических величин, так и при экспертном оценивании. Она с помощью линейных преобразований позволяет изменять масштаб шкалы и варьировать диапазоном измерения. Для сравнения однотипных свойств различных объектов применяются шкалы отношений.

Измерительные шкалы устанавливают границы (диапазон) и точности измерительных характеристик свойств в установленных единицах.

К основным свойствам, характеризующим правильность выбора шкалы измерений, относят обоснованность, устойчивость и точность. Обоснованность подтверждает, что данной шкалой измеряется именно те признаки, которые необходимы для анализа. Устойчивость подтверждается повтор-

⁴ МИ 2955–2010. ГСИ. Типовая методика аттестации программного обеспечения средств измерений. – М.: Изд-во стандартов, 2010. (Введ. 2010-05-24).

⁵ ГОСТ Р 54837–2011. (п. 4.5).

Таблица 2

Варианты реализации шкал при оценивании признаков качества

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ШКАЛ	ТИП ШКАЛЫ				
	НАИМЕНОВАНИЙ	ПОРЯДКА	РАЗНОСТЕЙ	ОТНОШЕНИЙ	АБСОЛЮТНАЯ
Использование единиц измерений	Невозможно ввести единицы измерений	Невозможно ввести единицы измерений	Возможно ввести единицы измерений	Возможно ввести единицы измерений	Возможно ввести единицы измерений
Необходимость эталона реализуемой шкалы	Шкалы могут применяться без специальных эталонов	Шкалы могут применяться без специальных эталонов	Реализация шкал – только за счет специальных эталонов	Реализация шкал – только за счет специальных эталонов	Шкалы могут применяться без эталонов
Что должен воспроизводить эталон при его наличии?	Весь диапазон шкалы	Весь диапазон шкалы	Какую либо часть или точку шкалы и условный ноль	Какую либо часть или точку шкалы	Обязательные требования отсутствуют
Допустимые преобразования	Определены две операции: «равно», «неравно»	Монотонные преобразования (сохраняя порядок следования измерений)	Линейные преобразования вида $y=ax+b$	Линейные преобразования вида $y=ax$	Объединяет свойства шкал отношений и разностей
Примеры решаемых задач	Перечни категорий информации: техническая, финансовая	Ранжирование объектов; бальное оценивание	Гистограммы анализа сбоев программ	Параметры ПО: требуемый объем памяти и др.	Оценка фактов (число ошибок в программе)

ными измерениями, а точность, например, за счет применения различных методов измерений, если это возможно.

Отдельно следует остановиться на терминологической стороне вопроса, актуальность которого возрастает при формировании словарей признаков, а также при наполнении соответствующих баз данных [17]. В ряде случаев система понятий связана с определенной предметной областью, в которой есть возможность установить взаимосвязи существующих понятий с вновь вводимыми понятиями в БД. Формирование понятий связано с выявлением их главных признаков и установлением системы отношений между ними. Несмотря на это, отношения понятийного уровня более просты, в сравнении с отношениями между признаками и объектами, характеризующимися этими признаками. Терминология, представленная в виде системы взаимоувязанных терминов (понятий) относится к числу таких интегрирующих факторов, которые позволяют создавать единое информационное и терминологическое пространство для заданной области исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Повышение качества программного обеспечения совпадает с современными тенденциями, которые требуют все более высокого уровня качества во всех видах функционального обеспечения информационных систем, как уже существующих, так и разрабатываемых. Развитие научно-методического

подхода к проведению сертификационных испытаний программных комплексов открывает новые возможности в создании программных продуктов высокого качества.

Данное направление, являясь одним из видов метрологической деятельности, представляет собой сложный многоаспектный процесс, требующий инновационного обеспечения, который во многом зависит от обслуживающих его информационных систем. Существующие инфраструктуры распределенных информационных систем сертификации необходимы новые методические подходы, аналитические и прикладные методы и алгоритмы. Целью этого процесса является унификация информационных процессов, как на этапах управления испытательными технологиями, так и на этапах аналитической обработки полученных результатов.

Отсутствие национальных брендов и известных российских IT-компаний на мировой арене объясняется не только уровнем маркетингового управления, но и неудовлетворительной информационной поддержкой. Это также связано с недостаточностью оснащенности программных продуктов свойствами адаптации к различным программным средам (кроссплатформенностью), масштабируемостью, надежностью (отказоустойчивостью) и сервисной поддержкой. Они также требуют возможности расширения функционала за счет интеграции с другими программными комплексами и технологиями, например, с использованием Интернета вещей для реализации более инновационных решений и услуг.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. Липаев В.В. Сертификация программных средств. – М.: СИНТЕГ, 2010. 348 с.
2. Бурый А.С., Морин Е.В. Модельно-алгоритмические структуры оценки качества программных изделий. – М.: Горячая линия-Телеком, 2019. 160 с.
3. Тарасов А.А. Функциональная реконфигурация отказоустойчивых систем: монография. – М.: Логос, 2012. 152 с.
4. Бурый А.С. Отказоустойчивые распределенные системы переработки информации. – М.: Горячая линия-Телеком, 2016. 128 с.
5. Кульба В.В., Косяченко С.А., Лебедев В.Н. Автоматизированные информационно-управляющие системы социально-экономических и организационных структур // Проблемы управления. 2009. № 3.1. С. 73–86.
6. Ананьева Т.Н., Новикова Н.Г., Исаев Г.Н. Стандартизация, сертификация и управление качеством программного обеспечения: учебное пособие. – М.: ИНФРА-М, 2017. 232 с.
7. Бурый А.С., Морин Е.В. Концептуальная модель контроля качества программной продукции на множестве признаков // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 1 (65). С. 29–37.
8. Buryi A.S., Lomakin M.I., Dokukin A.V. [et al.] A Study the Techniques of Assessing the Quality of Software Products // International Journal for Quality Research. 2021. Vol. 15. No 2. P. 619–636.
9. Савкин В. Принципы управления качеством программ // Открытые системы. СУБД. 2008. № 6. С. 49–53.
10. Авдеева З.К., Коврига С.В., Гребенюк Е.А. Формирование среднесрочных месячных прогнозов цен на сырье на основе экспертной и количественной информации // Автоматизация в промышленности. 2022. № 5. С. 38–45.
11. Дружинин Г.В., Сергеева И.В. Качество информации. – М.: Радио и связь, 1990. 172 с.
12. Ловцов Д.А. Информационная теория эргасистем: Тезаурус. – М.: Наука, 2005. 248 с.
13. Ловцов Д.А. Лингвистическое обеспечение правового регулирования информационных отношений в инфосфере. II. Качество информации // Правовая информация. 2015. № 2. С. 52–60.
14. Карпович Е.Е. Оценивание качества программного обеспечения САПР на основе метрических характеристик // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 5. С. 235–243.
15. Бурый А.С., Морин Е.В. Оценивание программных средств по множеству признаков // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2019. Т. 62. № 10. С. 907–913. DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-10-907-913
16. Ройс У. Управление проектами по созданию программного обеспечения. – М.: Изд-во ЛОРИ, 2007. 424 с.
17. Шустова Л.И., Тараканов О.В. Базы данных: учеб. – М.: Инфра-М, 2016. 304 с.

CONCEPTUALIZATION OF QUALITY IN THE SOFTWARE ENVIRONMENT OF INFORMATION SYSTEMS

Buryi A.S., Doctor of Sciences in Technology, Russian Standardization Institute, V.A. Trapeznikov, Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences

Morin E. V., Candidate of Engineering Sciences, FBU «Rostest-Moscow»

Modern trends in the development of domestic software are characterized by time constraints, orientation to cross-platform, adaptability in design and visual interface. The existing system of standards for ensuring the quality of software products is built taking into account the development, verification, certification and application (operation) of software tools. The desire to ensure a compromise between program quality indicators, external factors and requirements, time constraints and cost are reflected in the choice of metrics and appropriate analysis tools that can minimize possible defects inherent in the development process.

The purpose of this work is to develop approaches to the methodology of forming tools within the metrological support of software testing. It is proposed to consider the concept of software quality at the target, essential, functional and system levels of the corresponding information systems, for solving the tasks of which this software is being developed

Keywords: software product quality, quality indicators, software testing, multifeature objects, software metrology.

References

1. Lipaev V.V. Programmnaya inzheneriya slozhnykh zakaznykh programmnykh produktov: ucheb. posobie. Moscow, Maks Press Publ., 2014, 312 p.
2. Buryi A.S., Morin E.V. Model'no-algoritmicheskie struktury ocenki kachestva programmnykh izdelij. Moscow, Goryachaya liniya – Telekom Publ., 2019, 160 p.
3. Tarasov A.A. Funkcional'naya rekonfiguraciya otkazoustojchivykh sistem: monografiya. Moscow, Logos Publ., 2012. 152 p.
4. Buryi A.S. Otkazoustojchivye raspredelennye sistemy pererabotki informacii. Moscow, Goryachaya liniya – Telekom Publ., 2016. 128 p.
5. Kulba V.V., Kosyachenko S.A., Lebedev V.N. Avtomatizirovannye informacionno-upravlyayushchie sistemy social'noekonomicheskikh i organizacionnykh struktur. Problemy upravleniya, 2009, no. 3.1, pp. 73–86.
6. Ananeva T.N., Novikova N.G., Isaev G.N. Standartizaciya, sertifikaciya i upravlenie kachestvom programmogo obespecheniya. Moscow, INFRA-M Publ., 2017, 232 p.
7. Buryi A.S., Morin E.V. Konceptual'naya model' kontrolya kachestva programmnoj produkcii na mnozhestve priznakov. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2022, no. 1(65), pp. 29–37.
8. Buryi A.S., Lomakin M.I., Dokukin A.V., [et al.] A Study the Techniques of Assessing the Quality of Software Products. International Journal for Quality Research, 2021, vol. 15, no 2, pp. 619–636. doi: 10.24874/IJQR15.02-16
9. Savkin V. Principy upravleniya kachestvom program. Otkrytye sistemy. SUBD, 2008, no. 6, pp. 49–53.
10. Avdeeva Z.K., Kovriga S.V., Grebenyuk E.A. Formirovanie srednesrochnykh pomesyachnykh prognozov cen na syr'e na osnove ekspertnoj i kolichestvennoj informacii. Avtomatizaciya v promyshlennosti, 2022, no. 5, pp. 38–45.
11. Druzhinin G.V., Sergeeva I.V. Kachestvo informacii. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1990, 172 p.

12. Lovtchov D.A. Informacionnaya teoriya ergasistem: Tezaurus. Moscow, Nauka Publ., 2005, 248 p.
13. Lovtchov D.A. Lingvisticheskoe obespechenie pravovogo regulirovaniya informacionnyh otnoshenij v infosfere. II. Kachestvo informacii. Pravovaya informaciya, 2015, no. 2, pp. 52–60.
14. Karpovich E.E. Ocenivanie kachestva programmogo obespecheniya SAPR na osnove met-richeskih harakteristik. Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten', 2013, no. 5, pp. 235–243.
15. Buryi A.S., Morin E.V. Ocenivanie programmnyh sredstv po mnozhestvu priznakov. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Priborostroenie, 2019, vol. 62, no 10, pp. 907–913. doi: 10.17586/0021-3454-2019-62-10-907-913
16. Rojs U. Upravlenie proektami po sozdaniyu programmogo obespecheniya. Moscow, LORI Publ., 2007, 424 p.
17. Shustova L.I., Tarakanov O.V. Bazy dannyh: Uchebnik. Moscow, Infra-M Publ., 2016, 304 p.