

Научная статья
УДК 62-50:004
EDN YAFCLM
DOI 10.17150/2713-1734.2024.6(4).447-456



М.М. Бусько

*Байкальский государственный университет,
г. Иркутск, Российская Федерация*

А.П. Рубцов

*Байкальский государственный университет,
г. Иркутск, Российская Федерация*

Методы оценки метрологических характеристик программного обеспечения автоматизированных систем управления технологическими процессами

Аннотация. Для предприятий нефтехимической отрасли особенно актуальной является задача получения точных данных о производственных процессах в режиме реального времени. За установленный временной интервал отчетности, предприятие учитывает все свои материальные потоки, их объемы и маршруты перемещения в рамках материального баланса производства. Учет значительной доли технологических потоков ведется с использованием показаний контрольно-измерительных приборов (КИП). Для обработки информации, поступающей с приборов, используются автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП). Зачастую точность измерений может выходить за рамки нормируемых значений из-за внесения в результат измерений дополнительной погрешности программного обеспечения (ПО) АСУ ТП. При этом, как правило, дополнительная погрешность ПО не учитывается при утверждении типа средств измерений АСУ ТП. Для учета материальных потоков с необходимой точностью необходимо исследование и разработка методов испытаний ПО АСУ ТП.

Ключевые слова. АСУ ТП, испытание ПО, метрология, материальный баланс, методы испытания.

Информация о статье. Дата поступления: 13 ноября 2024 г.; дата принятия к публикации: 16 декабря 2024 г.; дата онлайн-размещения: 24 декабря 2024 г.

Original article

М.М. Busko

*Baikal State University,
Irkutsk, Russian Federation*

A.P. Rubtsov

*Baikal State University,
Irkutsk, Russian Federation*

Methods for Evaluating the Metrological Characteristics of Automated Control Systems Software

Abstract. For enterprises in the petrochemical industry, obtaining accurate real-time data on production processes is particularly relevant. Over a set reporting period, the enterprise accounts for all its material flows, their volumes, and

movement routes within the framework of the production material balance. A significant portion of technological flows is monitored using readings from measuring and control instruments. Automated process control systems (APCS) are used to process the information received from the instruments. Often, measurement accuracy can exceed regulated values due to additional errors introduced by the APCS software. Typically, this additional software error is not considered when approving the type of measuring instruments in APCS. To account for material flows with the necessary accuracy, it is essential to study and develop testing methods for APCS software.

Keywords. APCS, software testing, metrology, material balance, testing methods.

Article info. Received 13 November, 2024; Accepted 16 December, 2024; Available online 24 December, 2024.

Эффективность управления на производстве невозможна без достоверной информации о перемещении материальных потоков. Для предприятий нефтехимической отрасли особенно актуальной является задача получения точных данных о производственных процессах в режиме реального времени. За установленный временной интервал отчетности, предприятие учитывает все свои материальные потоки, их объемы и маршруты перемещения в рамках материального баланса производства. В состав материального баланса входят приемка сырья, отгрузка готовой продукции, запасы сырья и продукции на хранении в промежуточных парках, перемещение сырья и продуктов нефтехимии между производственными объектами.

Учет технологических потоков на производстве ведется с использованием показаний контрольно-измерительных приборов (КИП). Для обработки информации, поступающей с приборов, используются автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП). В реальных условиях большинство приборов обычно имеют точность в диапазоне от $\pm 0,5$ до 2 % при определении характеристик различных видов нефтяных продуктов, что зависит от конкретной модели устройства и типа продукции. Наибольшая погрешность наблюдается при работе с нефтепродуктами высокой вязкости и фракциями нефти, которые находятся в газообразном состоянии.

Погрешность измерения расхода на уровне 1–2 % может привести к принятию ошибочных решений по регулированию технологического режима установки. Как следствие возникают расхождения материальных балансов производства, что и является основной проблемой, рассматриваемой в настоящей статье.

Для анализа проблемы и выявления причинно-следственных связей необходимо построить «дерево проблем» [1, 2]. Дерево проблем приведено на рис. 1.

На основе дерева проблем можно сформулировать главную цель: устранение расхождения материальных балансов нефтехимического производства. Теперь необходимо разработать стратегию достижения поставленных целей. Дерево целей изображено на рис. 2.



Рис. 1 Дерево проблем

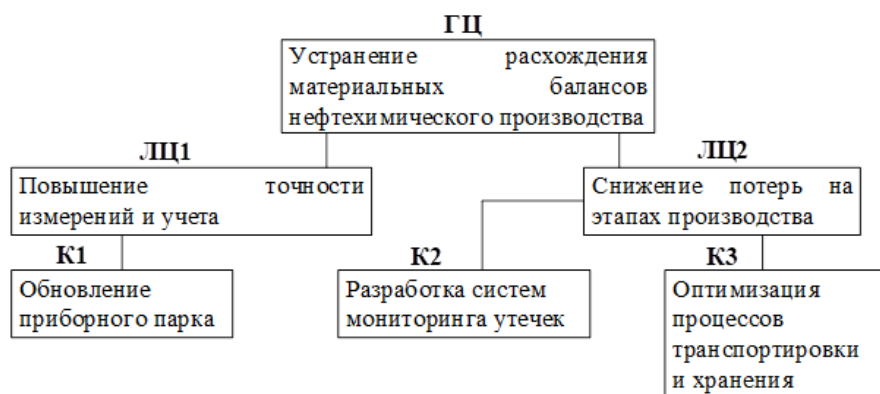


Рис. 2 Дерево целей

Как видно из рис. 2 — существует глобальная цель (ГЦ), две локальные цели (ЛЦ1, ЛЦ2) и три критерия их достижения (К1, К2, К3). Чтобы определить значимость каждого из критериев воспользуемся методом взвешенной оценки нескольких альтернатив [3; 4]. Для этого предложим три альтернативы (А1, А2, А3) (рис. 3).

Оптимизация процессов хранения и транспортировки — масштабная задача, требующая детальной проработки, построения математических моделей, проведения расчетов. В качестве альтернативы предлагается повышение квалификации обслуживающего персонала. В связи с высокой текучкой кадров теряется преемственность среди технологического персонала, что приводит к необходимости дополнительного обучения сотрудников, участвующих в ведении технологического процесса.

Разработка систем мониторинга утечек потребует значительных вложений, привлечения группы экспертов, разработчиков. Также не исключены трудности в интеграции с существующими системами. В качестве альтернативы предлагается принять к реализации перечень мероприятий по усилению производственного контроля в части охраны труда и промышленной безопасности, а также по большему вовлечению в производственную деятельность руководителей и специалистов производственного, механического, метрологического, технологического и электротехнического отделов.

Обновление приборного парка нефтехимического производства — мероприятие, требующее увеличения финансирования на закупку новых современных приборов и материалов для их установки. Значительные затраты так же пойдут на проектирование и проведение экспертизы промышленной безопасности проектной документации, закупку строительно-монтажных, пусконаладочных работ. В качестве альтернативы целесообразно рассмотреть разработку методики, целью которой будет повышение точности измерений.

Весовые значения важности локальных целей относительно главной и значимость критериев каждой локальной цели были установлены путем опроса экспертов. При этом коэффициент согласованности их мнений превысил 0,25, что свидетельствует об объективности оценок.

Распределение веса критериев приведено на рис. 3.

С учетом полученных весовых значений произведем расчет частных и интегральных оценок каждой альтернативы [3; 4]. Для этого введем обозначения: ВК — вес критерия, ЧОА — частная оценка альтернативы, IoA — интегральная оценка альтернативы. Вес каждого критерия будет определяться как (см. рис. 3):

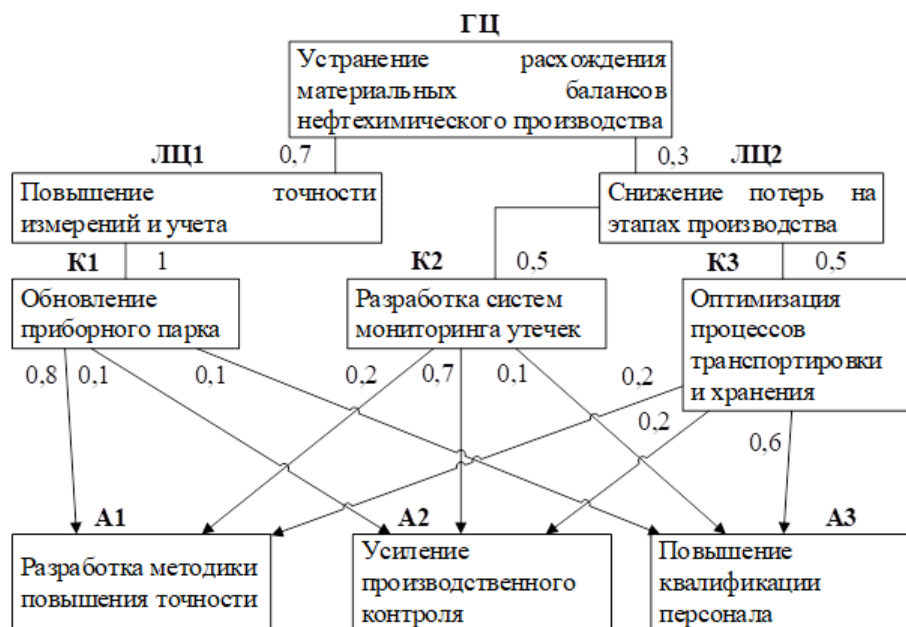


Рис. 3 Поиск альтернатив

$$BK1 = 1 \times 0,7 = 0,7$$

$$BK2 = 0,5 \times 0,3 = 0,15$$

$$BK3 = 0,5 \times 0,3 = 0,15$$

Частные оценки альтернатив будут иметь следующие значения:

$$ЧОА1(K1) = 0,8 \times 0,7 = 0,56$$

$$ЧОА1(K2) = 0,2 \times 0,15 = 0,03$$

$$ЧОА1(K3) = 0,2 \times 0,15 = 0,03$$

$$ЧОА2(K1) = 0,1 \times 0,7 = 0,07$$

$$ЧОА2(K2) = 0,7 \times 0,15 = 0,105$$

$$ЧОА2(K3) = 0,2 \times 0,15 = 0,03$$

$$ЧОА3(K1) = 0,1 \times 0,7 = 0,07$$

$$ЧОА3(K2) = 0,1 \times 0,15 = 0,015$$

$$ЧОА3(K3) = 0,6 \times 0,15 = 0,09$$

Наконец интегральным оценкам альтернатив будут соответствовать значения:

$$IoA1 = 0,56 + 0,03 + 0,03 = 0,62$$

$$IoA2 = 0,07 + 0,105 + 0,03 = 0,205$$

$$IoA3 = 0,07 + 0,015 + 0,09 = 0,175$$

Таким образом видно, что альтернатива А1 — разработка методики повышения точности имеет большую значимость по сравнению с остальными.

Ситуация усложняется тем, что зачастую точность измерений может выходить за рамки нормируемых значений из-за внесения в результат измерений дополнительной погрешности программного

обеспечения (ПО) АСУ ТП. При этом, как правило, дополнительная погрешность ПО не учитывается при утверждении типа средства измерений (СИ) АСУ ТП. На современном нефтехимическом производстве количество технологических установок варьируется от 15 до 35. Учет всех материальных потоков с необходимой точностью представляет собой сложную задачу, особенно если рассматривать ее через призму математики.

При тестировании программных решений используются методы «черного ящика» и «белого ящика» [4].

Метод «черного ящика» активно применяется многими международными метрологическими организациями благодаря доступности и легкости использования в различных метрологических задачах. При проведении проверки программы с использованием подхода «черного ящика», осуществляется определенный комплекс действий, после чего на основе ее поведения делаются выводы относительно ряда ее характеристик.

При тестировании сложнейших измерительных систем, где критически важно обеспечить безопасность и стабильную работу, используется метод «белого ящика», предполагающий тщательный анализ исходного кода программного обеспечения и изучение его функциональных возможностей.

При применении метода «черного ящика» оценка свойств программного обеспечения может осуществляться через анализ его поведения по отношению к определенным моделям входных данных, а также посредством сравнения результатов проверки с данными, полученными с помощью эталонного ПО или же с использованием стандартных наборов данных и стандартных результатов. Для испытания программного обеспечения стоит обратиться к наиболее известным методам [5; 6].

Метод испытаний, основанный на использовании опорного программного обеспечения

При использовании опорного (эталонного) программного обеспечения в процессе тестирования, подобно процедуре калибровки АСУ ТП, подразумевают сравнение данных, полученных в ходе проверки, с результатами, достигнутыми с помощью данного эталона.

Метод обладает рядом достоинств:

1. Простота проведения тестирования и его невысокая стоимость.

2. Определение ошибок происходит быстро.

3. Выполнение множества тестов становится возможным.

Недостатки метода:

– потребность в наличии опорного ПО.

– не исключены ошибки в опорном ПО.

Схема процедуры тестирования с использованием опорного ПО показана на рис. 4.

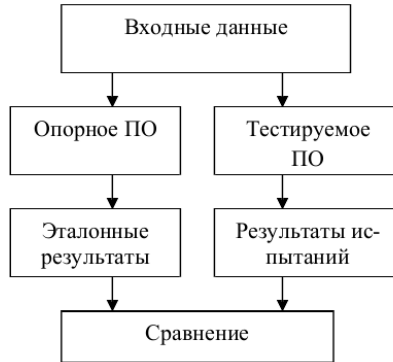


Рис. 4 Схема процедуры тестирования с использованием опорного ПО

Метод сличения программного обеспечения одинакового уровня вычислительной точности

Возможность сравнить программы возникает при условии отсутствия опорного ПО и наличия нескольких программных продуктов схожего уровня производительности.

На рис. 5 представлена схема проведения тестирования по методу сличения. Удовлетворительные результаты сравнения достигаются, когда разница между тестовыми результатами находится в рамках установленной погрешности.

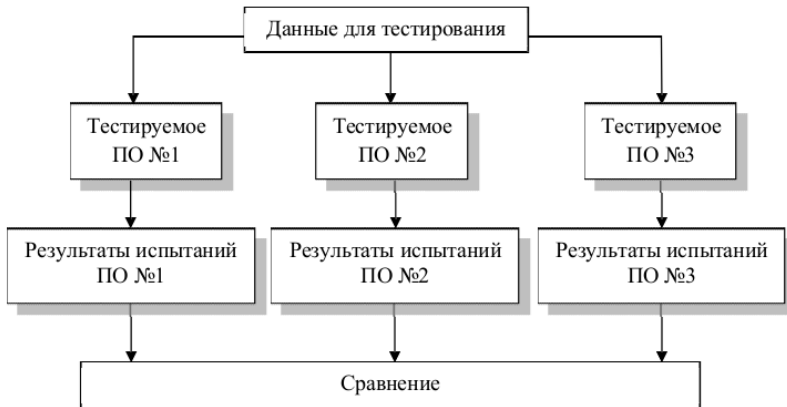


Рис. 5 Схема тестирования методом сличения нескольких программ одинакового уровня вычислительной точности

Метод обладает рядом достоинств:

1. Сложные программы, построенные на основе громоздких формул и математических связей, предоставляют возможность их тестирования.

2. Простота проведения тестирования и его доступность по цене являются ключевыми факторами.

3. В случае невозможности работы с базовой программной поддержкой или методами исходных моделей, есть шанс использовать этот метод для создания эталонных данных.

4. Выполнение множества тестов является возможным.

Недостатки метода:

– существует потребность в наличии нескольких программных продуктов сопоставимого уровня и вычислительных возможностей.

Метод испытаний, основанный на анализе исходного кода

Этот метод применяется редко и служит для тщательной проверки того, как программное обеспечение сказывается на точности АСУ ТП.

Метод обладает рядом достоинств.

1. Надежность.

2. Возможность получить ответы на основную массу задаваемых во время тестирования программного обеспечения АСУ ТП вопросов, включая такие, как, например:

– соответствие алгоритмов описанным в документации и их корректная реализация;

– реализация мер безопасности программного обеспечения информационной инфраструктуры и данных должна быть корректной, также важно правильно провести разделение программного обеспечения системы информации;

– проверка точности идентификации программного обеспечения СИ и других элементов.

Недостатки метода:

1. Поскольку необходимость больших временных затрат и людских ресурсов обуславливает высокую стоимость.

2. Специалисты должны обладать высокими профессиональными навыками.

3. В случае невозможности доступа к исходному коду или его крайней запутанности неприменимость является неизбежным следствием.

Метод применяется при определенных условиях:

– исходный код программы или его часть может быть представлен заявителем для исследования, при этом возможно заключение договора о неразглашении информации;

– исходный код имеет небольшой размер;

– все остальные способы оказываются непригодными;

– безграничность человеческих ресурсов и денежных средств.

Любое программное обеспечение может быть проанализировано методом исходного кода, включая ПО АСУ ТП.

Таким образом, основным фактором при выборе методики тестирования программного обеспечения является возможность ее использования. Оптимизация методики сравнительного тестирования достигается при условии наличия опорного ПО. В случае невозможности использования опорного ПО и ввода эталонных данных через программный интерфейс, можно рассмотреть способ получения или генерации эталонных данных. Выбор методов зависит и от строгости требований к тестированию ПО АСУ ТП. Различные критерии оценки качества программного обеспечения могут использоваться в зависимости от применяемых математических методов при его разработке. Например, для проведения испытаний при утверждении типа средства измерения АСУ ТП.

Список использованной литературы

1. Волкова В.Н. Теория систем и системный анализ : учебник / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. — 3-е изд. — Москва : Юрайт, 2024. — 562 с.
2. Хитрова Т.И. Технологические аспекты концепции формирования единого информационного пространства современного предприятия / Т.И. Хитрова, Е.М. Хитрова О.В. Пешкова. — DOI 10.17150/2500- 2759.2023.33(4).735-743. — EDN TBAJYZ // Известия Байкальского государственного университета. — 2023. — Т. 33, № 4. — С. 735–743.
3. Хитрова Т.И. Проблемы распределения работ в процессе реализации инновационных задач / Т.И. Хитрова, А.С. Низовцева. — DOI 10.17150/2411-6262.2020.11(2).15. — EDN DVOOXJ // Baikal Research Journal. — 2020. — Т. 11, № 2. — С. 15.
4. Слаев В.А. Аттестация программного обеспечения, используемого в метрологии : справочная книга / В.А. Слаев, А.Г. Чуновкина ; под ред. В.А. Слаева. — Санкт-Петербург : Профессионал, 2009. — 320 с. — EDN QMTUZH.
5. Васильев Д.Р. Проверка программного обеспечения средств измерений при испытаниях в целях утверждения типа (в порядке дискуссии) / Д.Р. Васильев. — EDN PAYIWP // Законодательная и прикладная метрология. — 2011. — № 2. — С. 24–37.
6. Гривастов Д.А. Практические процедуры проверки программного обеспечения СИ при испытаниях в целях утверждения типа / Д.А. Гривастов. — EDN PEXEKX // Мир измерений. — 2012. — № 11. — С. 23–33.

References

1. Volkova V.N., Denisov A.A. *Systems Theory and System Analysis*. 3rd ed. Moscow, Yurait Publ., 2024. 562 p.
2. Khitrova T.I., Peshkova O.V., Khitrova E.M. Technological Aspects of the Concept of Forming a Single Information Space of a Modern Enterprise. *Izvestiya Baikal'skogo gosudarstvennogo universiteta* = *Bulletin of Baikal State University*, 2023, vol. 33, no. 4, pp. 735–743. (In Russian). EDN: TBAJYZ. DOI: 10.17150/2500-2759.2023.33(4).735-743.
3. Khitrova T.I., Nizovtseva A.S. Problems of Work Distribution in the Process of Implementing Innovative Tasks. *Baikal Research Journal*, 2020, vol. 11, no. 2, pp. 15. (In Russian). DOI: 10.17150/2411-6262.2019.11(2).15. EDN: DVOOXJ.
4. Slaev V.A., Chunovkina A.G.; Slaev V.A. (ed.). *Certification of Software Used in Metrology*. Saint Petersburg, Professional Publ., 2009. 320 p. EDN: QMTUZH.

5. Vasiliev D.R. Verification of the Software of Measuring Instruments at Tests with a View of the Statement of Type (as Discussion). *Zakonodatel'naya i prikladnaya metrologiya = Legal and Applied Metrology*, 2011, no. 2, pp. 24–37. (In Russian). EDN: PAYIWP.

6. Grivastov D.A. Practical Procedures Used to Verify Measurement System Software in Type Approval Testing. *Mir izmerenii = Measurements World*, 2012, no. 11, pp. 23–33. (In Russian). EDN: PEXEKX.

Информация об авторах

Бусько Михаил Михайлович — кандидат технических наук, доцент, кафедра математических методов и цифровых технологий, Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: BuskoMM@bgu.ru.

Рубцов Артём Павлович — магистрант, кафедра математических методов и цифровых технологий, Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: RubtsovAP@inbox.ru.

Information about the Authors

Mikhail M. Busko — PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Mathematical Methods and Digital Technologies, Baikal State University, Irkutsk, Russian Federation, e-mail: BuskoMM@bgu.ru.

Artem P. Rubtsov — Master's Degree Student, Department of Mathematical Methods and Digital Technologies, Baikal State University, Irkutsk, Russian Federation, e-mail RubtsovAP@inbox.ru.

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the Authors

The authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Для цитирования

Бусько М.М. Методы оценки метрологических характеристик программного обеспечения автоматизированных систем управления технологическими процессами / М.М. Бусько, А.П. Рубцов. — DOI 10.17150/2713-1734.2024.6(4).447-456. — EDN YAFCLM // *System Analysis & Mathematical Modeling*. — 2024. — Т. 6, № 4. — С. 447–456.

For Citation

Busko M.M., Rubtsov A.P. Methods for Evaluating the Metrological Characteristics of Automated Control Systems Software. *System Analysis & Mathematical Modeling*, 2024, vol. 6, no. 4, pp. 447–456. (In Russian). EDN: YAFCLM. DOI: 10.17150/2713-1734.2024.6(4).447-456.