

УДК 004.4.6

DOI 10.47813/nto.3.2022.6.470-479 EDN [DPZSTH](#)



Рекомендуемые параметры тестирования и оценки эффективности программного комплекса для детектирования промышленных объектов на ортофотопланах

Т.Р. Назаров, Н.А. Мамедова*, А.И. Уринцов

ФГБОУ ВО «Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова», Стремянный
пер., 36, Москва, 117997, Россия

*E-mail: mamedova.na@rea.ru

Аннотация. Представлена логика процесса, а также основные выводы о результатах тестирования разработанного программного комплекса и экономики на этапе его эксплуатации. Материалы могут рассматриваться как положительная практика в сфере разработки программного обеспечения и могут быть использованы при сопоставимых технико-экономических условиях для составления технического задания и бюджета проекта. Результаты получены и верифицированы на основании использования ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2015 и могут быть использованы в подобных проектах, реализуемых по каскадной модели или ее вариаций. В качестве примера рассмотрен программный комплекс для детектирования промышленных объектов по материалам аэрофотосъемки. При тестировании применялась комбинация экспертной оценки и экспериментальной. Расчетная часть содержит данные экономики проекта на этапе эксплуатации программного комплекса. Представленные материалы являются открытыми и могут быть использованы в целях масштабирования положительных практик разработки программного обеспечения.

Ключевые слова: программное обеспечение, тестирование, оценка экономической эффективности, детектирование промышленных объектов, материалы аэрофотосъемки, ортофотоплан.

Recommended parameters for testing and evaluating the effectiveness of a software package for detecting industrial objects on orthophoto planes

T.R. Nazarov, N.A. Mamedova*, A.I. Urintsov

Plekhanov Russian University of Economics, 36 Stremyanny Lane, Moscow, 117997, Russia

*E-mail: mamedova.na@rea.ru

Abstract. The logic of the process is presented, as well as the main conclusions about the results of testing the developed software package and the economy at the stage of its operation. The materials can be considered as a positive practice in the field of software development and can be used under comparable technical and economic conditions for the preparation of the terms of reference and the project budget. The results were obtained and verified based on the use of GOST R ISO/IEC 25010-2015 and can be used in similar projects implemented using the cascade model or its variations. As an example, a software package for detecting industrial objects based on aerial photography materials is considered. During testing, a combination of expert evaluation and experimental was used. The calculation part contains the data of the project economy at the stage of operation of the software package. The presented materials are open-source and can be used to scale positive software development practices.

Keywords software, testing, evaluation of economic efficiency, detection of industrial objects, aerial photography materials, orthophoto plan.

1. Введение

Данная работа содержит описание логики и расчетную часть по результатам тестирования разработанного программного средства и оценки экономической эффективности разработки. С учетом вариативности методов и подходов, используемых для оценки эффективности разработки программного обеспечения, данную работу предлагается рассматривать как положительную практику и учитывать при составлении технического задания на разработку программного средства при сопоставимых технических и функциональных условиях решаемой задачи.

2. Постановка задачи (Цель исследования)

Разработанное программное средство решает задачу детектирования промышленных объектов по материалам аэрофотосъемки. Оставив за рамками программную реализацию проекта, мы сфокусировали внимание на таком аспекте жизненного цикла разработки программного обеспечения (Software development lifecycle (SDLC)), как тестирование. Кроме того, был затронут аспект оценки экономической эффективности по результатам внедрения разработанного программного комплекса. Практика показывает, что этому аспекту уделяется внимание преимущественно на этапе разработки технико-экономических показателей проекта в ущерб этапу эксплуатации, что соответственно препятствует масштабированию результатов [1, 2]. Цель данной работы состоит в том, чтобы на конкретном примере разработанного программного комплекса для детектирования промышленных объектов по материалам аэрофотосъемки представить логику и основные выводы при реализации этапа тестирования (технический аспект) и этапа эксплуатации (экономический аспект).

3. Методы и материалы исследования

Тестирование программного средства является одним из важнейших этапов жизненного цикла программного комплекса. Это процесс исследования программного продукта, целью которого является определение соответствия между ожидаемым и реальным поведением программного продукта и выявление ошибок работы сервиса для их последующего устранения. Соответствие определяется при помощи заданного набора тестов и анализа полученных результатов. Программное средство должно выполнять

функционал, отвечающий требованиям пользователя, без наличия критических ошибок, которые приводят к непредсказуемому поведению программы.

Качество программного комплекса – это совокупность его свойств, которые обуславливают его возможность удовлетворять заданные (подразумеваемые) потребности в соответствии с его назначением. Качество программного комплекса отслеживается на каждом этапе жизненного цикла с помощью установленных процедур контроля.

На сегодняшний день наиболее распространенной является многоуровневая модель качества программного средства, которая представлена в стандарте ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2015 [3]. Основываясь на специфике разработанного программного комплекса для обнаружения промышленных объектов по материалам аэрофотосъемки, было выделено шесть основных характеристик качества программного обеспечения:

- функциональная пригодность – программный продукт считается функциональным, если он выполняет возложенные на него задачи и отвечает заданным требованиям пользователя;
- удобство использования – параметру соответствует степень удобства эксплуатации продукта для пользователя;
- уровень производительности – показатель характеризует степень обеспечения программным средством необходимой производительности при заданных условиях;
- сопровождаемость – фактор отвечает за простоту тестирования, обслуживания и модификации программного средства;
- портативность – показатель отвечает за легкость переноса программного обеспечения на другую платформу;
- отказоустойчивость – фактор отвечает за возможность гарантировать малую вероятность отказа программного комплекса в процессе функционирования.

Для оценки каждого вышеперечисленного параметра используется два параметра:

- экспертные оценки определяются заказчиком программного продукта и задаются через коэффициенты важности рассматриваемых факторов в рамках

разработанного программного средства, которые обозначаются как веса w_i ; сумма всех весов равняется единице;

- экспериментально установленные оценки e_i – характеристика, отвечающая за соответствие реального поведения разработанной системы и требований, которые представлены в постановке задачи; данные оценки определяются в ходе тестирования.

Экономическая эффективность является одним из важнейших показателей для оценки программного продукта как на стадии инвестирования в разработку, так и на стадии внедрения и даже на стадии эксплуатации. В нашем случае она отражает оценку результативности разрабатываемого проекта, которая определяется как соотношение между затратами и итоговой выгодой от результатов его функционирования. Экономический эффект показывает результат внедрения проекта, который выражается в стоимостной форме. Себестоимость разработанного программного средства складывается из затрат на разработку (расходы на заработную плату разработчиков) и на дальнейшее сопровождение и поддержку приложения. Расходы на заработную плату разработчиков рассчитываются по представленной ниже формуле:

$$R_{зп} = \sum_{n=1}^n C_i * T \quad (1)$$

Где n – число разработчиков,

C_i - часовая оплата рабочего времени работника и прочие сопутствующие расходы,

T - количество человеко-часов, которое затрачено на разработку программного средства.

4. Полученные результаты

При разработке программного комплекса для детектирования промышленных объектов по материалам аэрофотосъемки проведено тестирование совместимости функционирования его составляющих при различных версиях библиотек [4]. Всего было протестировано 16 библиотек. Основными критериями рассматривались: поддержка высокопроизводительных графических приложений и автоматическая дифференциация [5]. Ключевыми библиотеками проекта по итогам тестирования были выбраны Tensorflow 2.9.0 и Keras 2.9.0. Но в целом исправную работу комплекса и ожидаемые результаты обеспечивают также такие библиотеки, как Numpy 1.22.4; Matplotlib 3.4.3; Pandas 1.3.3; Geopandas 0.9.0; Pillow 8.3.2.

Кроме того, проведено функциональное тестирование реализуемого программного комплекса. Функциональное тестирование – процесс оценки способности приложения решать задачи, необходимые пользователю, то есть определение корректности работы разработанных функций программного комплекса. Все процессы должны работать согласно предусмотренным требованиям. Тестирование производится посредством взаимодействия с интерфейсом программы, без доступа к исходному коду приложения, и ведётся с использованием спецификаций, которые описывают требования к системе [6]. Функциональное тестирование не затрагивает внутренние механизмы программы и позволяет проверить данные, которые выдаются в ответ на определенные сценарии поведения пользователя. Для проверки корректности работы программного комплекса необходимо произвести функциональное тестирование программы, обеспечивающей добавление и удаление типов объектов, доступных для детектирования (layer_manager), и программы, занимающейся детектированием выбранных типов объектов, – (detector).

В таблице 1 представлено поведение программы, возникающее при использовании программы layer_manager, и ответ программы на эти действия.

Таблица 1. Итоги функционального тестирования программы layer_manager.

Действие пользователя	Ответ программы
Удаление несуществующего типа объекта	Программа сообщает об ошибке. Процесс удаления объекта останавливается
Удаление существующего типа объекта	Удаляются размеченные изображения с данным типом объекта. Изменяется label map и создаются новые файлы формата TFRecord. Изменяется конфигурационный файл модели. Происходит переобучение сверточной нейронной сети
Добавление типа объекта, который уже доступен для детектирования	Программа сообщает об ошибке. Процесс добавления нового типа объекта останавливается
Подача на вход директории без изображений	Программа сообщает об ошибке. Процесс добавления нового типа объекта останавливается
Подача на вход неразмеченного изображения	Программа сообщает об ошибке. Процесс добавления нового типа объекта останавливается
Добавление ранее отсутствующего типа объекта с корректно размеченными изображениями	Добавляются размеченные изображения с данным типом объекта. Изменяется label map и создаются новые файлы формата TFRecord. Изменяется конфигурационный файл модели. Происходит переобучение сверточной нейронной сети

Функциональное тестирование программы detector представлено в таблице 2.

Таблица 2. Итоги функционального тестирования программы detector.

Действие пользователя	Ответ программы
Подача на вход директории без изображений	Программа сообщает об ошибке. Процесс детектирования объектов останавливается
Подача на вход изображения без файла геопривязки	Программа сообщает об ошибке. Процесс детектирования объектов останавливается
Файл геопривязки имеет данные некорректного вида	Программа сообщает об ошибке. Процесс детектирования объектов останавливается
Файл геопривязки имеет пропуски в данных	Программа сообщает об ошибке. Процесс детектирования объектов останавливается
Подача на вход данных в корректном виде	Программа последовательно обрабатывает каждый снимок, а на выходе сохраняет файл с геоданными в выбранном формате и выбранной директории.

Представленные результаты демонстрируют стабильную и корректную работу программного комплекса. При этом учитывалось, что отклонение ответа программы от ожидаемого – обязательный повод начать проверку и запустить повторное тестирование.

Результаты оценки показателей качества, полученные в ходе тестирования, представлены в таблице 3. Следует отметить отсутствие явных приоритетов среди характеристик по весу экспертной оценки. Это нормальная ситуация для разрабатываемого программного обеспечения. Но, если речь идет о проекте по модификации или адаптации, то распределение весов более неоднородное.

Таблица 3. Оценка показателей качества программного комплекса.

Характеристика	Экспертная оценка	Экспериментальная оценка
Функциональная пригодность	0.2	1
Удобство использования	0.2	0.5
Уровень производительности	0.2	0.65
Сопровождаемость	0.1	1
Портативность	0.1	0.5
Отказоустойчивость	0.2	1

Сумма весовых коэффициентов экспертных оценок качественных показателей должна равняться единице, что и представлено в расчетах ниже:

$$\sum_1^n w_n = 0.2 + 0.2 + 0.2 + 0.1 + 0.1 + 0.2 = 1 \quad (2)$$

Рассчитана итоговая оценка качества программного комплекса:

$$\sum_i^n w_i * e_i = 0.2 * 1 + 0.2 * 0.5 + 0.2 * 0.65 + 0.1 * 1 + 0.1 * 0.5 + 0.2 * 1 = 0.78 \quad (3)$$

Итоговая оценка качества разработанного программного комплекса рассчитывается как сумма произведений экспертной и экспериментальной оценок.

Количество часов (округленные значения), затраченное на поэтапную реализацию программного продукта, приведено в таблице 4. Затраты времени всецело определяются спецификой проекта, но границы нормирования должны быть предусмотрены в техническом задании, поскольку определяют и рентабельность инвестиций в проект и учитываются в расчете экономической эффективности.

Таблица 4. Затраты времени на разработку программного комплекса.

Название этапа разработки	Время на реализацию (человеко-часы)
Постановка задачи	5
Проектирование интерфейсов	10
Разработка алгоритмов	20
Сбор тренировочных и тестовых данных	5
Обучение нейронной сети	15
Написание кода программного комплекса	50
Тестирование и отладка	10
Обучение сотрудника	5

Для данного проекта общее количество человеко-часов, затраченное на разработку программного комплекса, составило:

$$T = 5 + 10 + 20 + 5 + 15 + 50 + 10 + 5 = 120 \text{ чел/час}$$

Затраты на оплату труда определяются числом и квалификацией привлеченных специалистов. Здесь показаны расчеты базового варианта, при котором разработчиком программного средства является один junior-разработчик, средняя сумма оплаты часа работы которого (с учетом отчислений в ФОТ) равняется 271.25 рубля. Данная цифра равна среднему значению по итогам оценки рынка труда [7]. Также при подсчете цены разработки программного комплекса были учтены сопутствующие затраты:

- оплата интернета (4 тысячи рублей в месяц);
- аренда помещения, а именно рабочего места площадью 3 кв.м. (2.5 тысячи рублей в месяц);
- стоимость электроэнергии для рабочего места площадью 3 кв.м. (250 рублей в месяц).

Таким образом, расходы на разработку составили:

$$TC_{3п} = 271.25 * 120 + 20.8 * 120 + 13 * 120 + 1.3 * 120 = 36762 \text{ рубля}$$

Подобного рода работы, связанные с анализом результатов аэрофотосъемки, подготовкой и анализом ортофотопланов, в связи с сильной зависимостью от погодных

условий, являются сезонными. Сезон включает в себя три месяца – июнь, июль и август. За сезон организация, в штате которой, для примера, состоят два человека, в функции которых входят ручная обработка результатов аэрофотосъемки и создание ортофотопланов, обрабатывает площадь размером 1100 кв.км. – среднее значение по данным организации-заказчика проекта по разработке программного комплекса.

Обработкой данных занимается сотрудник со ставкой (с учетом отчислений в ФОТ) 203.5 рубля в час по данным организации-заказчика проекта по разработке программного комплекса. Работа с каждым ортофотопланом (результатом обработки материалов аэрофотосъемки) включает в себя следующие этапы:

- открытие ортофотоплана в ПО QGIS и фиксация участка для осмотра (1 минута в среднем в течение рабочего времени за 1 день).
- визуальный осмотр (2 минуты в среднем в течение рабочего времени за 1 день).
- маркировка нужных объектов (1 минута в среднем в течение рабочего времени за 1 день).

Таким образом, один снимок, эквивалентный площади 1 кв.км. обрабатывается вручную 4 минуты. Стоимость работы сотрудника по обработке одного снимка составляет 13.6 рубля.

Эмпирически выяснено, что программный комплекс обрабатывает один ортофотоплан (1 кв.км.) 60 секунд и, следовательно, стоимость обработки – 3.4 рубля. Следовательно, можно сравнить выручку от проведения обработки ортофотопланов как при использовании программного комплекса, так и без него. За обработку одного ортофотоплана заказчик платит 20 рублей – среднее значение по данным организации-заказчика проекта по разработке программного комплекса.

Без использования программного комплекса выручка организации только с учетом затрат на зарплату специалиста рассчитывалась следующим образом:

$$R_1 = 20 * 1100 - 13.6 * 1100 = 7040 \text{ рублей}$$

Расчеты рентабельности существенно зависят от параметров налогообложения. Для данного проекта расчет производился в соответствии с налоговым режимом «налог на профессиональный доход» – налоговая ставка при оказании услуг юридическим лицам или индивидуальным предпринимателям составляет 6%. Таким образом, доход

при обработке данных аэрофотосъемки без использования программного комплекса, с учетом платы за интернет и электричество, стоимости аренды, составил 4061 рубль.

С использованием программного комплекса выручка только с учетом зарплаты специалиста рассчитывалась следующим образом:

$$R_1 = 20 * 1100 - 3.4 * 1100 = 18260 \text{ рублей}$$

Таким образом, доход организации при обработке данных с использованием программного комплекса в первый сезон работ, при учете налога в размере 6%, затрат на электроэнергию, интернет, аренду и списание стоимости техники, составил 16525 рублей. Использование программного комплекса для автоматизации работ детектирования промышленных объектов по материалам аэрофотосъемки увеличивает выручку организации по данному виду работ в 4 раза за один сезон. При сумме затрат на разработку в 36762 рубля разработанный программный комплекс окупится за три неполных сезона работ.

5. Выводы

Работа описывает процесс и результаты оценки качественных характеристик разработанного программного комплекса для детектирования промышленных объектов по материалам аэрофотосъемки. Каждой характеристике качества поставлены в соответствие экспертные оценки, полученные при постановке задачи, и экспериментальные оценки, которые определены в ходе тестирования системы. Результаты полученных измерений подтверждают соответствие качества разработанного программного средства требованиям. Также проведены результаты тестирования разработанного программного комплекса. В ходе функционального тестирования установлено, что программный комплекс работает стабильно и корректно.

Также в этой работе проведена оценка экономической эффективности внедрения разработанного программного продукта в организацию. Описана логика расчета и приведены сами расчёты затрат на разработку программного комплекса и дохода при проведении сезонных работ по обработке материалов аэрофотосъемки. Были приведены данные оценки окупаемости разработки, что доказывает экономическую эффективность и актуальность внедрения разрабатываемого программного средства. Таким образом, приведены данные тестирования и оценки внедрения, которые могут быть использованы

при составлении технического задания сопоставимого проекта и (или) сравнения результатов внедрения аналогичного программного средства.

Список литературы

1. Masuda, Y. Adaptive Integrated Digital Architecture Framework: Risk Management Case. In: Zimmermann, A., Schmidt, R., Jain, L. (eds) Architecting the Digital Transformation. Intelligent Systems Reference Library. – 2021. – vol 188. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49640-1_12
2. Bano, M. A systematic review on the relationship between user involvement and system success / M. Bano, D. Zowghi // Information and Software Technology. – 2015. – Vol. 58. – P. 148-169. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2014.06.011>
3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2015. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения (SQuaRE). Модели качества систем и программных продуктов. – Текст: электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200121069> (дата обращения: 10.10.2022).
4. Garg, D. A Roadmap to Deep Learning: A State-of-the-Art Step Towards Machine Learning. In: Luhach, A., Singh, D., Hsiung, PA., Hawari, K., Lingras, P., Singh, P. (eds) Advanced Informatics for Computing Research. ICAICR 2018 / D. Garg, P. Goel, G. Kandaswamy, A. Ganatra, K. Kotecha // Communications in Computer and Information Science. – 2019. – vol 955. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-3140-4_15
5. Nguyen, G. Machine Learning and Deep Learning frameworks and libraries for large-scale data mining: a survey / G. Nguyen, S. Dlugolinsky, M. Bobák et al. // Artificial Intelligence Review. – 2019. – 52(1). – P. 77-124. <https://doi.org/10.1007/s10462-018-09679-z>
6. Banerjee, A. On Testing Embedded Software / A. Banerjee, S. Chattopadhyay, A. Roychoudhury // Advances in Computers. – 2016. – 101. – P. 121-153.
7. Разработка и IT. – Текст: электронный // Биржа фриланса. – URL: <https://kwork.ru/categories/programming> (дата обращения: 10.10.2022).