Владимир Мыльник, Илья Марущак

Мыльник Владимир Владимирович — доктор экономических наук, профессор кафедры «Энергетический сервис и управление энергосбережением» Московского авиационного института (национальный исследовательский университет).

Марущак Илья Иванович — заведующий кафедрой экономики и управления Московского международного университета, кандидат экономических наук, доцент.

Vladimir V. Mylnik — Moscow Aviation Institute (National Research University).

Ilya I. Marushchak — Moscow International University.

Методологические аспекты разработки и оценки эффективности программных продуктов в АСУ промышленным производством

УДК 004.41
DOI: 10.33917/es-5.163.2019.134-141

В статье рассматриваются ключевые методологические аспекты оценки эффективности программных продуктов, реализуемых в автоматизированных системах управления (АСУ) промышленным производством. Авторами рассматриваются основные факторы, наиболее существенно влияющие на эффективность создаваемых программных продуктов. Приводятся и методологически обосновываются три выбранных на основании проведенного анализа критерия оценки их эффективности в зависимости от поставленных целей.

Ключевые слова
Программные продукты, надежность, оптимальность, критерии эффективности, многокритериальные оценки, дисконтированный срок окупаемости, чистый дисконтированный доход.

Программные продукты являются объектом интеллектуальной собственности и важной составляющей многих сфер жизни человека. Они используются повсеместно в промышленности, медицине, образовании, в том числе в создаваемых автоматизированных системах управления (АСУ) промышленным производством. От уровня реализации программных продуктов зависит как непосредственно эффективность промышленного производства, так и социальные сферы жизни общества — медицина, область услуг, торговля и т.д. По этой причине встает вопрос об эффективности программных продуктов и их надежности.

Ключевые факторы эффективности программных продуктов

Одним из важнейших аспектов программных продуктов выступает уровень их качества. Конечной целью повышения качества программных продуктов является максимизация степени удовлетворения запросов и потребностей потребителя. Ученые, как правило, выделяют следующие группы факторов, определяющих качество программного обеспечения (ПО):

- функциональные факторы, которые связаны с удобством использования функций, интегрированных в готовое ПО;
- эргономические факторы, которые отражают степень удобства применения интерфейса ПО для пользователей;
- факторы адаптивности определяют минимальное время на адаптацию пользователя к соответствующему ПО;
- программно-архитектурные факторы, определяющие логичность и уровень системности разработчиков при выборе структуры программы, методов и языков программирования для ее разработки.

Другим важным фактором, влияющим на эффективность программных продуктов, является их надежность. Опыт построения технически сложных программных систем в последние годы позволил выявить серьезные риски, связанные с их отказом и сбоями в процессе практического применения, которые в случае их использования на

Methodological Aspects of Developing and Evaluating Efficiency of Software Products in Industrial ACS

This paper discusses key methodological aspects of the evaluation of the effectiveness of software products sold in automated control systems (ACS) of industrial production. The author examines the main factors that most significantly affect the efficiency of the software products. Given and methodologically grounded three chosen based on our analysis of the criteria to assess their effectiveness, depending on the goals.

Keywords
Software reliability, optimality criteria of efficiency, multi-criteria evaluation, discounted payback period, net present value.

предприятиях способны стать причиной серьезных экономических потерь. Повышение их отказоустойчивости, правильное и логичное проектирование, учет различных технических рисков и потенциальных мест отказа — вот те задачи, которые должны решаться в самом начале жизненного цикла производства ПО. При выполнении этой работы следует использовать современную методологию, инструменты системного анализа, а также наиболее оптимальные языки программирования.

В целях обеспечения надежности программных продуктов требуется формализовать процесс их разработки и апробации до начала их серийного выпуска. Для этого необходимо решить следующие задачи:
- на основе опыта программистов и уже реализованных компанией продуктов предупредить возможность возникновения различных дефектов, ошибок в коде ПО, неправильной интеграции модулей программного продукта;
- обеспечить тщательный контроль над организацией рабочих процессов проекта, не допуская отклонения программистов от установленных процедур, требований к разрабатываемому ПО и действующих стандартов;
- провести исчерпывающее тестирование и апробацию готовой версии продукта с участием представителей фокус-группы;
- реализовать процедуру сертификации программного продукта;
- провести стресс-тестирование продукта с учетом заранее прогнозируемого темпа работы с ним пользователя и его потенциальных ошибок в использовании ПО.

Под *надежностью* программного продукта следует понимать его способность в полном объеме выполнять декларируемые разработчиком функции, на протяжении долгого времени поддерживая собственную функциональность и отказоустойчивость. Надежность является важнейшим качеством программной системы, уровень надежности определяется в начале создания системы; если речь идет об информационных продуктах, то надежность характеризуется рядом особенностей [1]:
- понятия и методы теории надежности можно использовать только применительно к программным продуктам, функционирующим в реальном масштабе времени и непосредственно взаимодействующим с внешней средой;
- при оценке качества программных продуктов следует учитывать фактор их функционирования в реальном масштабе времени;
- непредсказуемость места и времени проявления дефектов не позволяет эффективно использовать традиционные методы априорного расчета показателей надежности.

Применение основных понятий теории надежности сложных систем к жизненному циклу программных продуктов позволяет адаптировать и развивать эту теорию в особом направлении — в направлении надежности программных продуктов. Предметом изучения теории надежности комплексов программ (*software reliability*) *является работоспособность сложных* программ обработки информации в реальном масштабе времени. В основе теории надежности лежат представления о двух возможных состояниях объекта или системы программных продуктов: работоспособном и неработоспособном. Работоспособным является такое состояние объекта, при котором он способен выполнять заданные функции, а неработоспособным — когда объект не выполняет заранее заданных функций [1].

Учет модельной и информационной реализуемости особенно актуален в случае практического моделирования задач.

Одним из важных методологических аспектов в общей теории и методологии создания и функционирования программных продуктов с учетом их качества и надежности является экономическое обоснование таких продуктов при ограничениях финансовых ресурсов и времени реализации. Экономическое обоснование проводится в двух целях:
- во-первых, для определения сравнительной эффективности программных продуктов с помощью критерия минимума приведенных затрат;
- во-вторых, для определения абсолютной эффективности с помощью критерия максимума чистого дисконтированного дохода.

Последовательность выполняемых процедур при оценке эффективности реализуемых программных продуктов следующая.

1. На первоначальной стадии выбирается критерий эффективности в зависимости от поставленной цели.

2. Дается обоснование для экономических расчетов эффективности.

3. Проводятся расчеты затрат на разработку и внедрение программных продуктов.

4. Определяются факторы и источники образования эффекта от реализации программных продуктов.

5. Рассчитываются результаты (эффект) от применения программных продуктов.

6. Определяется эффективность (сравнительная, абсолютная) в связи с реализацией определенных программных продуктов.

7. Делаются выводы об эффективности программных продуктов в определенный момент времени.

8. Принимаются решения о финансировании разработок в области создания программных продуктов или об их приобретении у других специализированных организаций [2].

Методологические аспекты оценки эффективности программных продуктов

Формируя методологические аспекты оценки экономической эффективности ПО, следует как определять его итоговую эффективность, так и принимать во внимание те изменения выбранных показателей, которые возникают в соответствии с текущим уровнем производимых затрат и достигаемых результатов. Первостепенной задачей в этом процессе является выбор между однокритериальным и многокритериальным подходом к оценке эффективности программного обеспечения. Если однокритериальный подход предполагает использование лишь одного критерия, то при многокритериальном подходе речь идет о выборе нескольких критериев оценки эффективности, которые, как правило, взаимоувязываются в рамках разрабатываемых экономических моделей. Применение многокритериального подхода обусловливает несколько отличительных признаков моделирования многокритериальных задач.

Первый из таких отличительных признаков заключается в том, что исходные условия экономической постановки задачи можно формализовать как в рамках ограниченной модели, так и в виде критериев оптимальности. Предположим, что некоторое условие модели задачи можно сопоставить с целевой функцией модели $f(x)$, где x — план решения задачи.

Первая особенность состоит в том, что одни и те же условия (требования) экономической постановки задачи могут быть формализованы и в виде ограничений модели, и в качестве критериев оптимальности. Пусть некоторое условие (требование) модели задачи можно сопоставить с целевой функцией модели $f(x)$, где x — план решения задачи. Причем выполнение условия описывается неравенством $f(x) > C$. Значение параметра C часто неизвестно с достаточной точностью. Однако в большинстве случаев можно указать такое минимальное значение C, что любой план должен удовлетворять неравенству $f(x) > C$. В то же время для оптимального плана желательно выполнение неравенства $f(x) > C^* > C$. Вводить в модель ограничение $f(x) > C^*$ нецелесообразно, так как нет гарантии его выполнения. Поэтому рассматриваемое условие (требование) вводится в модель в виде ограничения $f(x) > C^*$ и в виде критерия $f(x) \to \max$. На разных стадиях моделирования условия такого типа могут принимать форму или ограничения, или критерия [3].

Назовем ограничение вида $f(x) > C$ жестким, если значение постоянной C заранее определено, то есть входит в состав исходных данных и не может быть изменено разработчиком модели по его усмотрению. Нежестким следует считать аналогичное ограничение, в котором значение C может изменяться разработчиком модели в определенных пределах [3].

Вторая особенность заключается в том, что при моделировании многокритериальных задач возникают критерии трех типов. Те критерии, которые возникают при формулировании экономической постановки задачи, назовем исходными. Они порождаются экономической сущностью задачи. В планово-экономическом значении эти критерии должны иметь простой экономический смысл. Например, критерии в виде

дохода, прибыли, минимизации себестоимости продукции.

При построении экономико-математической модели возникают критерии, которые можно назвать модельными. Например, они могут возникнуть в результате преобразования или дублирования нежестких ограничений для обеспечения корректности модели. Эти критерии не обязательно имеют явную экономическую сущность. При разработке любого метода могут возникнуть критерии третьего типа — алгоритмические. Они вводятся в модель в том случае, когда алгоритм построения искомого плана является многоэтапным и не удается обеспечить эффективную оптимизацию по всем исходным или модельным критериям на некоторых этапах. Такая ситуация имеет место при декомпозиции модели [3].

Третьей особенностью моделирования многокритериальных задач является необходимость отбора критериев, имеющих принципиально важное значение для экономики предприятия или бизнеса. В этом случае при формулировке экономической постановки задачи число критериев не ограничивается. При этом если при однокритериальном подходе к моделированию на этапе формулировки экономической задачи из множества критериев нужно выбрать единственный, то при многокритериальном подходе задача состоит в том, чтобы оставить в модели наиболее существенные критерии, не зависящие друг от друга. Понятие существенности критериев означает, что они должны отражать главные цели деятельности предприятия, составляющие сущность моделируемой задачи, а также ее качества, по которым может производиться окончательный выбор оптимального плана [3].

Другими требованиями, предъявляемыми к критериям, являются формализуемость и реализуемость. Формализуемость критерия означает, что он должен допускать корректное математическое описание в виде определенной целевой функции на множестве планов оптимизационной задачи. Различают модельную (вычислительную) и информационную реализуемость критерия. Учет модельной и информационной реализуемости особенно актуален в случае практического моделирования задач.

Условие вычислительной реализуемости трактуется как устранимое и неустранимое. Во втором случае имеет место ситуация, когда вообще неизвестны эффективные методы оптимизации планов по данному критерию. В этом случае он не должен вводиться в модель задачи. Если же речь идет о больших вычислительных трудностях оптимизации по этому критерию, то это может служить препятствием к практическому, но не к теоретическому использованию критерия. Важнейшей характеристикой критерия модели является его достоверность, под которой понимается степень соответствия между качественными действительными соотношениями и их отражением в критерии [3].

Основные критерии и инструменты оценки эффективности программных продуктов

При оценке эффективности программных продуктов одной из важных задач является выбор критериев эффективности. Под критерием эффективности программных продуктов понимается степень достижения целей, поставленных перед разработчиками этих продуктов. На практике достаточно распространенной ошибкой является то, что не делают различия между целями программных продуктов и их критериями эффективности. Цели программных продуктов определяют их назначение и смысл функционирования и выражают точку зрения на то, для чего они создаются. В отличие от целей критерии эффективности дают возможность определить, хорошо или плохо функционируют программные продукты, успешно ли выполняют свои функции. Цели и выбор критериев эффективности программных продуктов весьма важны как для будущей системы управления, так и для определения затрат, необходимых для их создания [2].

Критерии эффективности программных продуктов должны удовлетворять следующим условиям:

- реально измерять эффективность реализуемых программных продуктов;

➢➢ На практике достаточно распространенной ошибкой является то, что не делают различия между целями программных продуктов и их критериями эффективности.

• количественно отображать эффективность программных продуктов;
• охватывать наибольшее число результатов применения программных продуктов;
• отличаться простотой, но учитывать всю полноту результатов и затрат, связанных с реализацией программных продуктов.

Как показал проведенный анализ создания и реализации программных продуктов, для оценки их эффективности следует применять многокритериальные оценки. Такое положение связано с двумя случаями. В первом случае цель состоит в том, чтобы выбрать из множества разработанных продуктов наиболее эффективный вариант. Второй случай связан с определением количественной величины получаемых во времени результатов.

Как было отмечено выше, для оценки эффективности программных продуктов в условиях АСУ в зависимости от поставленных целей следует применять многокритериальные оценки эффективности. Многокритериальные оценки представляют собой самостоятельные критерии эффективности. В соответствии с проведенным исследованием и исходя из основных достижений экономики, разработки методологии создания программных продуктов, организационных процессов авторы выбрали следующие критерии:
• минимум приведенных затрат;
• максимум чистого дисконтированного дохода;
• минимум срока окупаемости инвестиций.

Далее следует рассмотреть сущность и структуру критерия «минимум приведенных затрат». Приведенные затраты по фактору времени представляют собой сумму себестоимости продукции и рассчитанной прибыли, приходящейся на единицу продукции до и после реализации программных продуктов в условиях АСУ промышленным производством. При расчетах эффективности инвестиций соизмерение затрат и результатов осуществляется с помощью коэффициента дисконтирования и приведения к первоначальному моменту времени [4].

Приведенные затраты представляют собой сумму себестоимости единицы продукции и расчетной прибыли, приходящейся на единицу продукции. Они определяются следующим образом:

$$З_t = C_t + \lambda_t K_t \to \min, \qquad (1)$$

где $З_t$ — приведенные затраты, связанные с разработкой и внедрением программных продуктов в t-м году;
C_t — себестоимость продукции с учетом эксплуатационных затрат вычислительного комплекса при применении старых и новых программных продуктов;
λ_t — коэффициент дисконтирования, который учитывает фактор времени;
K_t — капитальные вложения, приходящиеся на программные продукты в t-м году.

При расчетах эффективности инвестиций соизмерение долговременных затрат и результатов осуществляется с помощью коэффициента дисконтирования (λ_t) к первоначальному моменту времени. В целях приведения долговременных затрат и результатов к первоначальному периоду используется норма дисконта (E_c), которая равна приемлемой для инвесторов норме дохода на капитал. Приведение к базисному моменту времени затрат и результатов для t-го шага осуществляется путем их умножения на коэффициент дисконтирования, который для постоянной нормы дисконта вычисляется по формуле:

$$\lambda = \frac{1}{(1+E_c)^t}, \qquad (2)$$

где t — номер шага расчета ($t = 0, 1, 2..., T$);
T — горизонт работы.

В том случае, если норма дисконта меняется во времени и на t-м шаге расчета равна (E_c), коэффициент дисконтирования равен

$$\lambda = \frac{1}{\sum_{\kappa=1}^{t} \Pi(1+E_c)^t}. \qquad (3)$$

При сравнении экономических показателей для различных программных продуктов следует привести их к сопоставимому виду.

Показателем, который используется при оценке сравнительной эффективности программных продуктов в условиях применения крите-

Владимир Мыльник, Илья Марущак

В условиях инфляции дисконтирование всех денежных поступлений и расходов остается актуальным для любого проекта продолжительностью больше года.

рия минимума приведенных затрат, является показатель экономического эффекта в *t*-м году. Он определяется по формуле

$$Э_t = [(C_{1t} + \lambda_t K_{1t}) - (C_{2t} + \lambda_t K_{2t})] \to \max, \quad (4)$$

где C_{1t}, C_{2t} — соответственно себестоимость продукции при применении старых и новых программных продуктов в *t*-м интервале;
K_{1t}, K_{2t} — соответственно капитальные вложения при использовании вычислительного комплекса, использующего старые и новые программные продукты в *t*-м году.

Другим подходом к определению экономического эффекта от применения программных продуктов с использованием критерия минимума приведенных затрат является подход, базирующийся на оценке стоимости машино-часа вычислительного комплекса и времени реализации. При данном подходе рассматриваются два случая: одноразовое и многоразовое использование программного продукта. При одноразовом использовании экономический эффект определяется следующим образом:

$$Э_t = [C_{мч} * (T^{и}_{рп} - T^{н}_{рп})] - \lambda_t (З^{и}_{рп} * \eta_{в1} - З^{н}_{рп} * \eta_{в2}) \to \max, \quad (5)$$

при многоразовом использовании:

$$Э_t = [K_{рз} * C_{мч} * (T^{и}_{рп} - T^{н}_{рп})] - \\ - \lambda_t (З^{и}_{рп} * \eta_{в1} - З^{и}_{рп} * \eta_{в2}) \to \max, \quad (6)$$

где $C_{мч}$ — стоимость машино-часа вычислительного комплекса;
$T^{и}_{рп}$, $T^{н}_{рп}$ — время реализации исходных и новых программных продуктов;
$З^{и}_{рп}$, $З^{н}_{рп}$ — время на разработку и внедрение исходной и новой программы;
$K_{рз}$ — количество решаемых задач в *t*-м году;
$\eta_{в1}$, $\eta_{в2}$ — количество вычислений при реализации исходной и новой продукции.

Второй случай связан с тем, что разработку и реализацию любого продукта можно представить в виде инвестиционного проекта. В этом случае для оценки эффективности инвестиций, вложенных в программные продукты, применяются динамические методы, в рамках которых рассматриваются затраты и результаты от применения программных продуктов во времени по критерию «чистый дисконтированный доход». На наш взгляд, чистый дисконтированный доход является показателем для определения эффективности практически любых инвестиционных проектов. В том случае, если в течение расчетного периода не происходит изменения цен и расчет эффективности осуществляется в базовых ценах, чистый дисконтированный доход определяется с учетом производимых затрат и результатов только на определенном шаге.

Под результатами в данном случае подразумеваются денежные поступления, связанные с реализацией программных продуктов. Преимущественное положение показателя чистого дисконтированного дохода состоит в том, что он учитывает фактор времени, что позволяет объективно оценивать инвестиционные проекты, имеющие продолжительный жизненный цикл. Программные продукты, как правило, имеют жизненный цикл от одного года до трех лет. В связи с этим при проводимых расчетах эффективности программных продуктов, имеющих жизненный цикл более одного года, следует учитывать инфляционные процессы, происходящие в стране.

Несмотря на то что термин «чистый дисконтированный доход» не является точным переводом термина *net present value*, тем не менее он наиболее точно отражает экономическую сущность данного показателя, заключающуюся в сопоставлении дисконтированных поступлений от реализации проектов с инвестиционными и текущими затратами, необходимыми для реализации этих проектов. В том случае, если в течение расчетного периода не происходит изменения цен и расчет эффективности осуществляется в базовых ценах, чистый дисконтированный доход по критерию его максимума определяется следующим образом [4]:

$$MPV = Э_{инт} = \sum_{t=0}^{T} (P_t - З_t) \frac{1}{(1+E_c)^t} = \sum_{t=0}^{T} Э_t \frac{1}{(1+E_c)^t} \to \max, \quad (7)$$

где P_t — результат, достигаемый на t-м шаге расчета;
$З_t$ — затраты, осуществляемые на t-м шаге расчета;
$Э_{инт}$ — эффект, получаемый t-м шаге расчета;
T — горизонт расчета.

Под результатами в данном случае подразумеваются денежные поступления, связанные с реализацией. В нашем случае поступления связаны с использованием программных продуктов. Преимущественное положение показателя NPV состоит в том, что он учитывает фактор времени. Это позволяет объективно оценивать проекты, имеющие продолжительный жизненный цикл. Программные продукты имеют, как правило, жизненный цикл от одного года до трех лет. В связи с этим в условиях инфляции дисконтирование всех денежных поступлений и расходов остается актуальным для любого проекта продолжительностью больше года.

Одним из динамических показателей, применяемых на практике, является срок окупаемости инвестиций, вкладываемых в программные продукты. Срок окупаемости представляет собой минимальный период времени от начала реализации программных продуктов до момента, когда первоначальные инвестиции, связанные с проектом затраты, полностью покрывают суммарные доходы.

В настоящее время различают дисконтированный срок окупаемости инвестиций (DPP — *Discounted payback period*) и срок окупаемости инвестиций без учета дисконтирования (PP — *Payback period*). Общая расчетная формула имеет вид:

$$PP = \min T, \text{ при котором } \sum_{t=1}^{T} P_t \geq IC, \qquad (8)$$

где IC — исходные инвестиции.

Основным недостатком данного показателя является то, что он не учитывает временного аспекта стоимости денег. Такую проблему снимает использование DPP, в котором денежные потоки дисконтируются во времени. Соответствующая формула расчета DPP выглядит следующим образом:

$$\text{DPP} = \min T, \text{ при котором } \sum_{t=0}^{T} P_t * \frac{1}{(1+E_c)^t} \geq IC. \qquad (9)$$

При проводимых расчетах эффективности программных продуктов в соответствии с приведенными критериями должны соблюдаться ограничения по инвестициям и времени реализации этих продуктов:

$$\begin{cases} И_{факт} \leq И_{пл\,t}, \\ Т_{факт} \leq Т_{пл\,t}, \end{cases} \qquad (10)$$

где $И_{факт}$, $И_{пл\,t}$ — соответственно фактические и планируемые инвестиции программных продуктов в t-м году;
$Т_{факт}$, $Т_{пл\,t,}$ — соответственно фактическое и планируемое время программных продуктов в t-м году.

Оптимизация проводимых расчетов эффективности программных продуктов должна предусматривать сокращение ресурсов при их эксплуатации. При расчетах следует учитывать не только снижение эксплуатационных расходов, но и снижение себестоимости продукции в основном производстве.

ПЭС 18179 / 08.11.2018

Источники

1. Ковшов А.Н., Назаров Ю.Ф., Ибрагимов И.М., Никифоров А.Д. Информационная поддержка жизненного цикла изделий машиностроения. Принципы, системы и технологии CALS/ИПИ. М.: Академия, 2007.

2. Мыльник В.В., Титаренко Б.П. Исследование систем управления. М.: ИЦ РИОР: НИЦ ИНФРА-М, 2014. 238 с.

3. Мыльник В.В., Каспаров Л.Б. Методологические аспекты создания и реализации АСУ ТП в промышленном производстве и оценки их эффективности // Вестник УрФУ. Серия «Экономика и управление». 2013. № 2.

4. Мыльник В.В. Инвестиционный менеджмент. М.: Академический проект, 2003.

References

1. Kovshov A.N., Nazarov Yu.F., Ibragimov I.M., Nikiforov A.D. *Informatsionnaya podderzhka zhiznennogo tsikla izdelii mashinostroeniya. Printsipy, sistemy i tekhnologii CALS/IPI* [Information Support for the Life Cycle of Mechanical Engineering Products. Principles, Systems and CALS-Technologies]. Moscow, Akademiya, 2007.

2. Myl'nik V.V., Titarenko B.P. *Issledovanie sistem upravleniya* [Management Systems Research]. Moscow, ITs RIOR: NITs INFRA-M, 2014, 238 p.

3. Myl'nik V.V., Kasparov L.B. Metodologicheskie aspekty sozdaniya i realizatsii ASU TP v promyshlennom proizvodstve i otsenki ikh effektivnosti [Methodological Aspects of Creating and Implementing Process Control Systems in Industrial Production and Evaluating Their Efficiency]. *Vestnik UrFU*, Seriya "Ekonomika i upravlenie", 2013, no 2.

4. Myl'nik V.V. *Investitsionnyi menedzhment* [Investment Management]. Moscow, Akademicheskii proekt, 2003.