

Проблемы экономики производства крупных программных продуктов

В.В. Лунаев
lip@ispras.ru

Аннотация. Рассматриваются особенности экономики современного производства крупных программных продуктов, создаваемых коллективно по инициативе разработчиков или заказчика-потребителя, а также оценка их экономических характеристик путем маркетинговых исследований или по статистике прототипов продукта. Представлены проблемы анализа, выделения и оценивания факторов, определяющих экономические характеристики производства конкретных программных продуктов, экономического обоснования и прогнозирования эффективности технологий их производства. Сформулированы проблемы организации, планирования и применения экономически обоснованных методов автоматизации производства сложных комплексов программ, а также обеспечения их качества с учетом затрат ресурсов.

1. Введение

Во многих предприятиях и ВУЗах отношение к программам для ЭВМ исторически базируется на подходе, как к «искусству и художественному творчеству» отдельных специалистов (программирование «в малом»). При этом считается, что **невозможно применять, какие-либо экономические характеристики** для определения и прогнозирования стоимости и результатов такого творчества, и они оцениваются только с позиции выполняемых функций и **«эстетики»** их реализации. Такие программы не предназначены для массового тиражирования и распространения как программного продукта на рынке, их оценивают качественно и интуитивно, преимущественно, как “художественные произведения”. При этом, как правило, нет конкретного независимого заказчика-потребителя, определяющего требования к программам и их финансирование, программы не ограничиваются заказчиком допустимой стоимостью, трудоемкостью и сроками их создания, требованиями обеспечения заданного качества и документирования. Их разработчики не знают и не применяют регламентирующих, нормативных документов производства, вследствие чего жизненный цикл таких изделий имеет **непредсказуемый характер** по структуре, содержанию, качеству и стоимости основных результатов творчества. Их создание **не определяется экономическими**

характеристиками и регламентированными производственными процессами и далее не рассматривается.

Для небольших относительно простых проектов программных средств, во многих случаях достаточно достоверными могут быть интуитивные оценки **требуемых экономических ресурсов**, которые выполняются опытными руководителями, реализовавшими несколько аналогичных проектов. Однако **интуитивные оценки руководителями** размеров и сложности крупных программных проектов (программирование «в большом»), как правило, отличаются **большими ошибками при планировании экономических характеристик** – сроков, трудоемкости и стоимости создания продуктов. Это во многих случаях приводит к значительному запаздыванию завершения разработок и к превышению предполагавшихся затрат. Практика последних лет показывает, что вследствие **пренебрежения тщательным экономическим обоснованием** до 15% проектов сложных программных комплексов не доходит до завершения, а почти половина проектов не укладывается в выделенные ресурсы, бюджет и сроки, не обеспечивает требуемые характеристики качества. Типичны ситуации, когда отставание сроков внедрения промышленных систем управления и обработки информации полностью **зависит от неготовности для них программных продуктов**.

Приступая к разработке сложных программных проектов, заказчики и исполнители, прежде всего, должны попытаться понять, целесообразно ли экономически создание соответствующих продуктов, и оценить, какова будет возможная эффективность применения готового продукта, оправдаются ли затраты на его разработку и использование. Поэтому такие технические проекты традиционно должны начинаться с анализа и разработки **экономического обоснования** предстоящего жизненного цикла предполагаемого продукта. Заказчику проекта необходимо оценивать реальную потребность в создании продукта и возможную конкурентоспособность, а потенциальному разработчику предполагаемого продукта – проводить оценку реализуемости проекта в условиях и ресурсах, предлагаемых заказчиком. Часто разработчики не в состоянии привести заказчику или руководителю проекта достаточно обоснованные доказательства нереальности выполнения выдвигаемых требований к продукту при предложенных ограниченных значениях бюджета и сроков. Это, как правило, означает, что программная часть системы с самого начала **выходит из-под экономического контроля**, и возможна катастрофа с реализацией и завершением проекта всей системы в требуемый срок с заданным качеством.

Массовое создание сложных и дорогих программных продуктов промышленными методами и большими коллективами специалистов вызвало необходимость их достоверного **экономического анализа и оценки**, четкой организации производства, планирования работ по затратам, этапам и срокам

реализации. Для решения этих задач еще в *1980-е годы* начала формироваться новая область знания и инженерная дисциплина – *экономика производства крупных программных продуктов* [1]. Необходимо было научить специалистов анализу и оцениванию конкретных факторов, влияющих на экономические характеристики проектов программных продуктов со стороны реально существующих и потенциально возможных воздействий, а также ограничений ресурсов проектов комплексов программ. Это привело к появлению новой области экономической науки и практики – *экономики производственных процессов и жизненного цикла сложных программных продуктов* как части экономики промышленности и вычислительной техники в общей экономике предприятий и государства. Ее основной задачей является прогнозирование, эффективное управление, распределение ресурсов и экономное использование необходимых быстро возрастающих капиталовложений в производство сложных комплексов программ высокого качества и различного назначения.

Развитие этой области экономики *связано с большими трудностями*, типичными для новых разделов науки и техники, появляющихся на стыке различных областей знания. В данном случае особенности состоят в том, что *менеджеры и разработчики* комплексов программ, как правило, не знают даже основ экономики промышленного производства сложной продукции, а *экономисты современного производства* не представляют сущность и свойства объектов разработки – программных продуктов, а также особенностей экономики технологических процессов их проектирования, производства и применения. Объективно положение осложнено трудностью измерения экономических характеристик таких объектов. Широкий спектр количественных и качественных показателей, которые с различных сторон характеризуют содержание компонентов и комплексов программ, и невысокая достоверность оценки их значений определяют значительную дисперсию при попытке описать и измерить свойства создаваемых сложных программных продуктов *для их экономического прогнозирования и оценки*.

Крупные программные продукты являются *одними из наиболее сложных объектов, создаваемых человеком*, и в процессе их производства *творческая работа специалистов* – поиск новых методов, альтернативных решений и способов осуществления заданных требований, а также формирование и декомпозиция этих требований – составляет значительную часть всех трудозатрат. Индустриализация производства комплексов программ позволяет автоматизировать нетворческие, технические и рутинные операции и этапы, а также облегчить творческие процессы за счет селекции, обработки и отображения информации, необходимой для принятия творческих решений. Следствием этого должно являться значительное сокращение доли затрат на творческий труд в непосредственных затратах на производство комплексов программ.

В производстве программ *неуклонно повышаются размеры и сложность* создаваемых продуктов, что вызывает возрастание затрат творческого труда на единицу размера новых программ. В перспективе, несмотря на автоматизацию и повышение инструментальной оснащенности технологии разработки комплексов программ, доля творческого труда при создании полностью новых крупных программных продуктов возрастает. Даже при сокращении суммарных затрат на разработку программных компонентов за счет автоматизации нетворческого труда, все более определяющей для экономических характеристик создания сложных программных продуктов становится доля затрат на творческий труд, и *возрастают требования к творческим способностям при отборе и обучении специалистов*.

По мере повышения квалификации коллективов специалистов и автоматизации творческой части труда следует ожидать асимптотического приближения проектов к предельным значениям относительных экономических характеристик новых разработок. Эти значения определяются *интеллектуальными возможностями человека по интенсивности принятия творческих решений*. Им соответствуют наличие предельных значений производительности труда и длительности разработки сложных комплексов программ. Вряд ли можно ожидать в ближайшие годы радикального повышения производительности труда при создании полностью новых, крупных программных продуктов. Еще более консервативна длительность таких разработок [2, 5, 12].

Создание программных средств как сложной *производственной продукции* существенно повысило *актуальность экономического обоснования, необходимость прогнозирования и измерения* их характеристик качества и процессов производства. Основной целью производства многих программных продуктов является повышение эффективности промышленных систем обработки информации и/или управления объектами, в которых применяются сложные комплексы программ. Такими системами могут быть средства автоматизированного управления самолетами, системами вооружения или электростанциями, информационно-справочные системы административного управления, системы автоматизации проектирования и обучения. В ряде случаев программные продукты невозможно или очень трудно характеризовать *непосредственной экономической эффективностью*. Примером могут служить комплексы программ в административных системах, в системах управления воздушным движением или космическими аппаратами, а также военного назначения или автоматизации научных экспериментов. В таких случаях при анализе программ невозможно определять прямую экономическую эффективность систем в зависимости от затрат ресурсов, и целесообразно исключать из анализа характеристики эффективности программных продуктов. В результате исследование экономической эффективности создания комплексов программ приходится проводить по величине *затрат ресурсов на производство программного*

продукта в предположении, что обеспечена реализация заданных их функциональных характеристик с требуемым качеством.

Зачастую при экономическом анализе проектирования и производства предполагается [4, 6, 9], что для продукта зафиксирован эффект от его создания и использования, и необходимо выявить все основные факторы, способствующие *минимизации совокупных производственных затрат на всем жизненном цикле*. Для этого должен быть подготовлен согласованный между заказчиком и разработчиком утвержденный документ, в котором определяются *цели и задачи проекта, требуемые характеристики продукта и доступные экономические и другие ресурсы для его реализации*. Эти данные должны быть предварительно сбалансированы, и они должны обеспечивать реализацию целей проекта при выделенных ресурсах с минимальным допустимым риском. Однако масштабы целей и функций сложных программных проектов имеют устойчивую тенденцию изменяться и увеличиваться по мере развития, а первоначально выделяемые ресурсы – не удовлетворяют их реализацию. *Экономическое обоснование проектов* на начальном этапе их развития должно содержать оценки рисков реализации поставленных целей, обеспечивать возможность планирования и выполнения жизненного цикла (ЖЦ) программного продукта или указывать на недопустимо высокий риск его реализации и целесообразность прекращения разработки. Большую часть рисков и негативных последствий производства можно избежать, используя существующие *методы оценивания и прогнозирования производственных затрат, а также управления проектами программных продуктов* для их успешного завершения.

2. Особенности экономики производства крупных программных продуктов

При экономическом анализе и обосновании проектов сложных комплексов программ возможны два сценария:

- создание и весь жизненный цикл комплекса программ ориентируется на массовое тиражирование и распространение их на рынке среди заранее не известных пользователей, в различных сферах и внешней среде применения; при этом *отсутствует конкретный внешний потребитель-заказчик*, который определяет и диктует основные требования к программному продукту, выделяет ресурсы и финансирует проект;
- разработка программного продукта предполагается с определенным, относительно небольшим тиражом, с известной областью и внешней средой применения, *для конкретного потребителя-заказчика*, который определяет требования к функциям и характеристикам качества, финансирует и выделяет ресурсы.

Эти сценарии *принципиально различаются методами экономического анализа* и обоснования экономических характеристик продукта. *Первый*

сценарий базируется на маркетинговых исследованиях рынка программных продуктов и на стремлении поставщика занять на рынке достаточно выгодное место. Для этого ему необходимо определить наличие на рынке всей гаммы близких по назначению и функциям продуктов, оценить их эффективность, стоимость и применимость, а также *возможную конкурентоспособность* предполагаемого к разработке программного продукта для потенциальных пользователей и их возможное число. Следует оценить рентабельность затрат на создание и обеспечение всего ЖЦ нового программного продукта, выявить факторы, функциональные, экономические и конструктивные показатели качества, которые способны привлечь достаточное число покупателей и оправдать затраты на предстоящую разработку. Для этого разработчикам необходимо проводить оценки возможной конкурентоспособности предполагаемой продукции на рынке *по величине соотношения*:

- возможной *эффективности* (ценности, достоинств) последующего применения программного продукта и способности удовлетворить потребности пользователей при их приобретении и использовании;
- *к стоимости* (цене, затратам), которую готов заплатить пользователь при приобретении и эксплуатации данного программного продукта.

При выборе поставщика и продукции *покупатель* обычно стремится максимизировать это соотношение как за счет поиска продуктов с наибольшими эффективностью и качеством, так и за счет минимальной стоимости покупаемого продукта. В этом сценарии при организации производства вся ответственность за цели, функции и показатели качества продукта ложатся на его производителей, и *особую роль при экономических оценках* должны играть специалисты по маркетинговому анализу предполагаемого распространения продукта на рынке. Они должны оценивать: конъюнктуру и риск успешного продвижения создаваемого продукта на рынок, сроки и график выполнения этапов жизненного цикла, достаточность ресурсов для реализации проекта и длительность развития, модификаций и распространения версий программного продукта. Для этого им нужны, в частности, *прогнозы экономических характеристик производства* предполагаемого продукта. Такие проекты обычно относительно невелики по объему и срокам реализации первой версии программного продукта, однако могут предполагать длительный жизненный цикл и множество модификаций для адаптации к нуждам и среде пользователей.

Второй сценарий предполагает наличие определенного заказчика-потребителя конкретного программного продукта, который должен соответствовать его *функциональным, техническим и экономическим требованиям*. Заказчик может выбирать конкурентоспособного поставщика-разработчика и оценивать его возможность реализовать проект с необходимым качеством с учетом ограничений требуемого бюджета, сроков и других ресурсов. При этом результаты разработки не обязательно подлежат широкому тиражированию, они могут не поступать на рынок; маркетинговые

исследования для таких продуктов являются второстепенными и предварительно могут не проводиться.

Однако для заказчика и разработчиков при заключении контракта необходимо достаточно достоверное прогнозирование требований к программному продукту и **экономическое обоснование необходимых ресурсов** по трудоемкости, стоимости, срокам и другим показателям. Заказчик заинтересован в получении продукта высокого качества при минимальных затратах, а разработчик желает получить максимальную оплату за созданный продукт и достаточные ресурсы на его производство. Противоположность интересов поставщика и потребителя при оценке экономических характеристик, стоимости и других ресурсов проекта, требует поиска компромисса, при котором производитель программного продукта не проделывает, а заказчик не переплатит за конкретные выполненные работы и весь проект. Поэтому оба партнера **заинтересованы в достоверном экономическом прогнозировании** и обосновании процессов проектирования и производства программного продукта.

Во многих случаях эффективность систем новой техники и программных продуктов в процессе производства приходится прогнозировать **в условиях неопределенности** целей, требований к функциям, различных факторов и характеристик заказываемых систем и продуктов. Зачастую бывают недостаточно известны перспективы внедрения, распространения и применения объектов производства – новых программных продуктов. Значительные неопределенности содержатся также в экономических характеристиках производственных технологий, а также инструментальных средств автоматизации проектирования и изготовления комплексов программ. Положение усугубляется трудностью поэтапного определения качества компонентов и его прогнозирования в процессе производства, что непосредственно отражается на экономических характеристиках реализации продукта в целом.

Методы и достоверность **экономического анализа производства** и жизненного цикла крупных комплексов программ можно разделить на **две части**, существенно различающиеся свойствами производственных процессов, экономическими характеристиками и влияющими на них факторами. **В первой части ЖЦ** производятся: системный анализ, проектирование, разработка, тестирование и испытания первой (базовой) версии программного продукта. Номенклатура работ, их трудоемкость, длительность и другие характеристики на этих этапах ЖЦ существенно зависят от **свойств создаваемого продукта**, требуемых показателей качества, внешней и технологической среды разработки. Изучение подобных зависимостей для различных прототипов программных продуктов позволяет достаточно достоверно прогнозировать состав и основные экономические характеристики производства, планы и графики работ для вновь создаваемых продуктов.

Вторая часть ЖЦ, отражающая применение, сопровождение и развитие версий программного продукта, связана не только с экономическими характеристиками продукта и среды производства. При этом **экономические характеристики производства** зависят **от интенсивности изменений** версий, сложности и стоимости каждой модификации программного продукта. Совокупность версий сложных программных продуктов обычно характеризуются длительной непрерывной эксплуатацией, продолжительность которой значительно превышает длительность производства первой версии. После того как программный продукт создан и испытан, в ряде случаев он становится недоступным для разработчиков и применяется неизменным до внедрения очередной версии при модификации системы. В **процессе сопровождения** программы могут подвергаться эпизодическим корректировкам, которые должны регистрироваться, накапливаться и передаваться пользователям экземпляров системы. Необходимо обеспечивать адекватность документации каждой версии эксплуатируемого продукта в любой момент времени.

Номенклатура работ на этапах сопровождения более или менее стабильная, а их трудоемкость и длительность могут сильно варьироваться и зависят от массовости и других факторов распространения и применения конкретного программного продукта. Успех продукта у пользователей и на рынке, а также **экономические характеристики процесса развития версий трудно предсказать**, и определяющими становятся потребительские характеристики и качество продукта, а его экономические особенности с позиции производства отходят на второй план. Вследствие этого трудно прогнозировать экономические характеристики, трудоемкость и необходимое число специалистов, поддерживающих этапы производства модификаций программного продукта. Это затрудняет обобщение экономических характеристик производства для различных версий продуктов и прогнозирование на их основе аналогичных характеристик новой разработки. В результате их приходится проводить итерационно на **базе накопления опыта и анализа экономических характеристик модификаций** конкретных типов и версий программных продуктов.

Наиболее сильно на **экономические характеристики производства программных продуктов** (кроме требуемых функций) влияют их **масштаб – размер**, а также требования к **качеству**. Оценка размера будущего программного продукта необходима, поскольку она является частью одной из наиболее важных задач проекта: **возможности реализации требований заказчика и потребителей при доступных ресурсах**. Нереальные ожидания, основанные на неточных экономических оценках проектирования и производства, представляют собой одну из частых причин провала проектов. Измерение размера, оценка и составление графика производства программного продукта сложным образом переплетаются в процессе планирования проекта. Довольно сложно создать реальный график (учитывающий обязанности исполнителей, их зависимости, перекрытие

действий, а также дату поставки продукта) без информации о размере трудозатрат, требуемых для выполнения каждой частной задачи и создания компонентов. Таким образом, измерение размера (сложности) компонентов и комплекса в целом должно **предшествовать оценке полных экономических характеристик** проекта, а эта оценка, в свою очередь, должна предшествовать составлению производственного графика работ.

Качество продуктов характеризуется многими показателями, состав которых зависит от класса, функций и конкретного назначения комплекса программ. По мере повышения требований к качеству затраты на производство увеличиваются все более высокими темпами. Одновременно расширяется диапазон неопределенности достигаемого качества при допустимых затратах. В результате для сложных программных продуктов всегда есть риск проявления неустранимых ошибок и недостаточной достоверности оценок качества. **Специфицирование требований и оценивание характеристик качества** программного продукта – ключевой фактор обеспечения их адекватного применения. Это может быть достигнуто на основе выделения, определения и реализации подходящих характеристик с учетом целей использования и функциональных задач комплекса программ с использованием стандартизированных или формализованных метрик [2, 5, 11]. Задача состоит в создании, выборе и прогнозировании наиболее адекватных **экономических критериев** для обобщенного описания эффективности производства, стоимости создания и использования сложных комплексов программ в зависимости от их назначения, области применения, требуемого качества и других факторов.

Для сложных продуктов с высокими требованиями к качеству проектирование, развитие и применение систем обеспечения и контроля качества должно сопровождать весь жизненный цикл основной продукции – комплексов программ. Включение комплексов программ в контур систем управления производством промышленной продукции или динамическими объектами приводит к необходимости обеспечения ими высокого качества решения задач, **безопасности и надежности их функционирования** не ниже, чем у аппаратных компонентов соответствующих систем. Поэтому комплексы программ должны тщательно тестироваться и проходить контрольные испытания для определения уровня качества, безопасности и надежности их применения, что может потребовать особенно больших затрат ресурсов.

3. Проблемы анализа экономики производства программных продуктов

Экономические характеристики реальных завершённых разработок, собираются, накапливаются и обрабатываются с начала 80-х годов в разных отечественных организациях и за рубежом [1, 3]. Они позволили получать и прогнозировать основные обобщенные экономические показатели процессов

производства комплексов программ. При оценке размера вновь созданных комплексов программ и трудоемкости их полной разработки обычно не учитывались компоненты операционных систем, драйверы, средства контроля и тестирования, а также повторно используемые компоненты. При этом обычно рассматривался полный технологический процесс производства от начала подготовки технического задания до завершения испытаний базовой версии продукта. Учитывались все категории специалистов, участвующих в создании программ и обеспечивающих разработку, а также все виды работ, связанные с созданием программного продукта на выделенном интервале времени.

Наиболее полно и подробно **основные закономерности и влияние факторов на экономические характеристики** процессов разработки в 80-е годы представлены в [1] для более десяти моделей прогнозирования. В 1981-м году на основе исследования процессов разработки 63 программных продуктов была опубликована модель прогнозирования под названием КОМОСТ [1]. В последующем эта модель была развита, детализирована и опубликована как СОСОМО, а в 2000-м году – под названием СОСОМО II [10]. В этой модели на основе анализа более 160 реальных проектов разработки комплексов программ различной сложности уточнены рейтинги влияния выделенных факторов на основные экономические характеристики.

Кроме того, в 1988-м году были опубликованы [3] результаты анализа экономических характеристик (комплексный проект ПРОМЕТЕЙ) на основе обобщения результатов разработки свыше 250 отечественных проектов сложных программных продуктов. В общем случае для оценки экономических характеристик новых проектов **необходимы следующие исходные данные:**

- обобщенные характеристики использованных ресурсов и экономические показатели завершённых разработок – прототипов, а также оценки влияния на их характеристики различных факторов объекта и среды разработки; реализованные и обобщенные перечни выполненных работ и реальные графики проведенных ранее разработок различных классов комплексов программ;
- цели и содержание частных работ в процессе создания сложных комплексов программ и требования к их выполнению для обеспечения необходимого качества продукта в целом;
- структура и содержание документов, являвшихся результатом выполнения частных работ.

Этапы жизненного цикла программ существенно различаются между собой степенью определенности и прогнозируемости их характеристик. Соответственно изменяются возможности подготовки и достоверность планов проведения работ. В процессе разработки сложных программных продуктов уточняются и детализируются их спецификации требований, функции, структура и характеристики компонентов. Поэтому на начальных этапах, в особенности, принципиально новых проектов, трудно точно спланировать все

последующие этапы. В результате *планирование проводится итерационно* в соответствии с последовательным повышением достоверности и точности сведений об объекте и среде разработки. Так как *отсутствует достоверная пооперационная статистика* разработки программ, пока *невозможно создать типовые нормативы* на большинство частных операций при производстве сложных комплексов программ. Отсюда принципиальной особенностью разработки комплексов программ является активное участие руководителей и заказчиков проекта в составлении планов на базе исследованных характеристик прототипов завершенных разработок и своего личного опыта. Такие планы должны иметь разумные ограничения в детализации работ на уровне, обеспечивающем необходимую управляемость всего процесса проектирования и производства.

Сложные комплексы программ обычно являются *компонентами систем*, реализующими их основные, функциональные свойства и создающими предпосылки для последующих изменений их жизненного цикла. При экономическом анализе ЖЦ сложных программных комплексов целесообразно выделять два крупных этапа: *анализ и проектирование* программного продукта и собственно его *производство на основе проекта*. При проектировании необходимо формировать функции, требования к качеству и архитектуру предполагаемого комплекса программ, оценивать его экономические характеристики и решать – следует ли реализовывать производство программного продукта. Экономическое обоснование проектов на начальном этапе их производства должно содержать *оценки экономических рисков* реализации поставленных целей, обеспечивать возможность планирования и выполнения жизненного цикла продукта или указывать на недопустимо высокий риск его реализации и целесообразность прекращения проектирования и производства.

Множество текущих состояний и модификаций компонентов в жизненном цикле сложных комплексов программ менеджерам необходимо упорядочивать, контролировать их развитие и реализацию участниками проекта. Организованное, контролируемое и методичное отслеживание динамики проектирования и производства, а также изменений в жизненном цикле программ и данных, их разработка при строгом учете и контроле ресурсов и каждого изменения, является *базовой проблемой эффективного, поступательного развития* каждого крупного комплекса программ и системы *методами программной инженерии* [2, 5, 7, 8].

Основным способом совершенствования производства программных продуктов и повышения квалификации специалистов в этой области многие менеджеры считают накопление и распространение опыта наиболее успешных разработчиков, который выражается в быстром продвижении проектов. Однако, только повышая квалификацию отдельных разработчиков, невозможно решать современные проблемы *коллективного производства крупных программных продуктов*, а еще менее вероятно, что так можно

подготовиться к тем требованиям, которые выдвинет будущее. Производительность индивидуального труда наиболее продуктивных разработчиков может во много раз превышать производительность наименее продуктивных, в то время как численность последних в такое же число раз превышает численность первых [2, 8, 12]. Кроме того, опыт наиболее продуктивных разработчиков *не может быть применен в промышленных масштабах* крупных проектов, поскольку ориентирован на людей с исключительными способностями.

Для удовлетворения *требований к производству сложных программных продуктов в промышленном масштабе* должны быть исключены надежды на расточительное использование таланта отдельных высококвалифицированных разработчиков для выполнения рутинных повторяющихся процессов, чтобы они могли больше времени тратить на постановку, формализацию и организацию производства сложных программ [7]. Методы, стандарты и шаблоны программной инженерии уже доказали возможности повторного использования знаний в производстве сложной программной продукции. Однако многие компании, занимающиеся производством программных продуктов, не уделяют должного внимания экономике и эффективному применению современных методов автоматизации и обеспечения всего жизненного цикла программных средств. Эти проблемы и их компоненты в разной степени могут отражаться на экономических характеристиках, качестве и конкурентоспособности отечественных программных продуктов, однако на них целесообразно обращать внимание и по возможности решать заказчикам, руководителям и разработчикам сложных программных продуктов.

Проблема экономического прогнозирования развития проектов в программной инженерии заключается, прежде всего, в разработке, освоении и использовании методов для расчета экономических характеристик производства сложных программных продуктов. Цель экономического обоснования проектов комплексов программ состоит в помощи их руководителям определять:

- целесообразно ли проводить или продолжать работы над конкретным проектом программного продукта в направлении детализации требований, функций и экономических характеристик, или следует его прекратить вследствие недостаточных ресурсов специалистов, времени или возможной стоимости и трудоемкости производства;
- при наличии достаточных ресурсов, следует ли провести маркетинговые исследования для определения рентабельности полного выполнения проекта и производства программного продукта для поставки заказчику или на рынок;
- достаточно ли полно и корректно формализованы требования к проекту, на основе которых проводились расчеты экономических характеристик,

или их следует откорректировать и выполнить повторный анализ с уточненными исходными данными;

- есть ли возможность применить готовые повторно используемые компоненты, в каком относительном размере от всего комплекса программ, и рентабельно ли их применять в конкретном проекте, или весь проект целесообразно разрабатывать как полностью новый.

4. Проблемы организации экономически эффективного производства программных продуктов

Стратегической проблемой в жизненном цикле современных систем стало *обеспечение и совершенствование качества производства сложных программных продуктов при реальных ограничениях* на использование доступных ресурсов производства. Для каждого крупного проекта, выполняющего ответственные функции, необходимо *прогнозировать требующиеся ресурсы*, разрабатывать и применять комплексную систему качества, специальные планы и программу, методологию и инструментальные средства, обеспечивающие *требуемые качество*, надежность и безопасность функционирования программного продукта. Для этого следует использовать современные методы и стандарты при подготовке промышленных технологий, методик производства и испытания конкретных продуктов, однозначно отражающих степень удовлетворения исходных требований заказчика и пользователей, а также для сравнения продуктов разных поставщиков и выявления среди них предпочтительных.

Базой эффективного управления проектом крупного программного комплекса является *план*, в котором задачи исполнителей частных работ должны быть согласованы с выделяемыми для них ресурсами, а также между собой, по результатам и срокам их достижения. Планирование программных проектов должно обеспечивать компромисс между требующимися характеристиками создаваемой системы и ограниченными ресурсами, необходимыми на ее разработку и применение. По мере уточнения исходных данных об объекте разработки, внешней среде применения и ресурсах, в процессе системного анализа и проектирования возрастает достоверность планирования, которое должно проходить следующие *этапы*:

- обследование объектов и среды проектирования для предварительной формализации целей, назначения и задач проекта;
- первичное прогнозирование возможных характеристик и требований к программному продукту на базе обобщения данных ранее реализованных подобных прототипов и создание концепции проекта;
- управление детализацией и реализацией плана производства, его оперативной корректировкой и перераспределением ресурсов в соответствии с особенностями развития компонентов программного комплекса;

- обобщение и накопление результатов планирования и управления конкретным проектом для использования впоследствии этих данных в качестве прототипов при производстве программных продуктов.

На каждом этапе должен проводиться поиск *эффективных технических и экономических решений реализации проекта*, исследование и сопоставление альтернативных действий, которые должны приводить к достижению поставленных целей производства программного продукта. Уже при первичном прогнозировании развития проекта должны оцениваться альтернативные характеристики объекта и среды разработки и выбираться наиболее подходящие для производства в соответствии с поставленными целями и имеющимися ресурсами. Сравнение альтернатив следует проводить по величине достигаемого эффекта проекта в зависимости от затрат на его достижение (желательно, по показателю “эффективность/стоимость”).

Для сокращения затрат возникла *необходимость в новых технологиях, методах создания и управления* сложными проектами программных продуктов. Это приводит к *увеличению роли интеграции* таких компонентов, соответствующих методов и инструментария программной инженерии. Однако вследствие их принципиальной новизны и сложности, они трудно воспринимались традиционными программистами компонентов и преподавателями отечественной высшей школы. Коренные отличия между методами и инструментарием индивидуального, «художественного» программирования небольших программ и технологией планомерного, регламентированного производства крупных программных продуктов приводят к тому, что последние медленно осваиваются и входят в практику *слаженной работы больших коллективов специалистов*. Эти обстоятельства *отражаются на существенном отставании от мирового уровня* отечественных программных продуктов по конкурентоспособности, количеству и качеству.

Неопределенность применяемых понятий, требований и характеристик качества присущая крупным, наукоемким проектам комплексов программ, а также многочисленные спекуляции разработчиков на их значимости приучили заказчиков не доверять рекламируемым достоинствам программных продуктов [7, 8]. Во многих случаях контракты и предварительные планы на создание сложных программных комплексов и баз данных подготавливаются и оцениваются на основе неформализованных представлений заказчиков и разработчиков о требуемых функциях и характеристиках качества систем. Многочисленные провалы проектов выявили необходимость формализации методов взаимодействия и обеспечения взаимопонимания разработчиков с заказчиком или потенциальными пользователями создаваемого продукта *с самого начала проекта* с целью конкретизации его функций и требований к качеству. Ошибки, обусловленные неопределенностью или некорректностью технических заданий и спецификаций требований, могут и должны

выявляться на ранних стадиях проектирования, что способствует его ускорению и повышению качества.

Возрастание сложности и ответственности современных задач, решаемых крупными системами, а также возможного ущерба от недостаточного качества комплексов программ значительно повысило актуальность проблемы освоения методов **стандартизированного описания требований** и оценивания характеристик качества на различных этапах ЖЦ. Выявилась необходимость систематизации реальных характеристик качества программных продуктов, применения стандартов для выбора из них необходимой номенклатуры и требуемых значений для конкретных комплексов программ. Обещания разработчиков в контрактах с заказчиками создать высококачественные продукты в согласованные сроки во многих случаях не выполняются, как вследствие различий в понимании требуемого качества, так и из-за неумения оценить ресурсы, необходимые для достижения заданного качества программ.

Широкое многообразие классов и видов программ, обусловленное различными функциями систем, предопределяет формальные трудности, связанные с методами и процедурами **доказательства соответствия поставляемых продуктов** условиям контрактов и требованиям потребителей. По мере расширения областей применения и увеличения сложности программных продуктов выделились области, в которых ошибки или недостаточное качество программ или данных могут нанести ущерб, значительно превышающий положительный эффект от их использования. В этих критических случаях недопустимы аномалии и дефекты функционирования программных продуктов при любых искажениях исходных данных, сбоях и частичных отказах аппаратуры и других нештатных ситуациях.

Проблемы формирования требований к характеристикам и качеству программного продукта включают анализ свойств, характеризующих его функционирование с учетом технологических и ресурсных возможностей производства. При этом под качеством функционирования понимается совокупность свойств, обуславливающих пригодность продукта обеспечивать надежное и своевременное представление требуемой информации потребителю для ее дальнейшего использования по назначению. В соответствии с принципиальными особенностями программного продукта **при проектировании** должны выбираться номенклатура и значения требований к характеристикам качества, необходимым для его эффективного применения пользователями; эти требования впоследствии отражаются в технической документации и в спецификации требований на конечный продукт. Каждый критерий качества может использоваться, если определена его метрика, и может быть указан способ ее оценивания и сопоставления с требуемым значением. Для конкретных видов программных продуктов доминирующие критерии качества выделяются и определяются при проектировании систем их функциональным назначением и требованиями технического задания.

Удостоверение достигнутого качества функционирования сложных программных продуктов и методов обеспечения их жизненного цикла базируется на сертификации, аттестованной проблемно-ориентированными испытательными лабораториями. Применение сертифицированными системами качества на предприятиях-разработчиках должно гарантировать высокое, устойчивое качество процессов производства конечного программного продукта. Основой сертификации должны быть детальные и эффективные методики испытаний конкретных продуктов, специально разработанные тестовые задачи и генераторы тестов для их формирования, а также квалификация и авторитет испытателей. Для этого заказчики должны выбирать подрядчиков-исполнителей своих проектов, которые имеют системы обеспечения качества программных средств и сертификаты, удостоверяющие реализацию и применение системы качества производства предприятием-разработчиком.

Обеспечение и удостоверение качества сложных программных продуктов должно базироваться на проверках и испытаниях:

- технологий обеспечения жизненного цикла программных комплексов, поддержанных регламентированными системами качества;
- готового программного продукта с полным комплектом адекватной эксплуатационной документации.

Глубокая взаимосвязь качества разработанных комплексов программ с качеством технологии их создания и с затратами на разработку становится особенно существенной при необходимости получения конечного продукта с предельно высокими значениями показателей качества. Это привело к существенному изменению в последние годы объектов, методологии и культуры в области создания и совершенствования комплексов программ. Непрерывный рост требований к качеству стимулировал создание и активное **применение международных стандартов** и регламентированных технологий, автоматизирующих процессы ЖЦ, начиная с инициирования проекта. Для решения этой задачи необходимо детально исследовать современные процессы производства и использования программ различных классов и назначения – встроенных, коммерческих, административных, учебных, уникальных и др.

Проблемы оценивания и выбора квалифицированных и надежных специалистов-подрядчиков, способных создавать сложные программные продукты и базы данных требуемого качества в разумные сроки с учетом ограничений на используемые ресурсы, стоят остро для многих заказчиков и пользователей современных вычислительных систем. Для их решения поставщикам комплексов программ, (кроме программистов-кодировщиков), необходимо иметь системных аналитиков, архитекторов и топ-менеджеров проектов, а также специалистов по комплексированию, испытаниям и обеспечению качества современных сложных программных продуктов. Они должны знать передовые индустриальные методы, технологии и международные стандарты, поддерживающие и регламентирующие ЖЦ

комплексов программ, а также инструментальные системы обеспечения качества, верификации, тестирования и сертификации программных продуктов. Для этого требуется, прежде всего, системотехническая квалификация предприятий и специалистов, берущихся за производство крупных программных продуктов высокого качества.

5. Заключение

За последние годы ряд исследований и работ *по сбору и обобщению экономических данных о производстве программных продуктов* заложили основы для методов и моделей оценивания затрат [1, 10, 13]. Имеющиеся модели не всегда точны, как хотелось бы, но могут весьма существенно помочь в экономическом анализе и обосновании решений при создании сложных программных продуктов. Для сбора и обобщения экономических характеристик о производстве программных продуктов необходимо детально исследовать требуемые ресурсы для современных процессов создания и использования комплексов программ различных классов и назначения. Необходимы активные исследования *на разных уровнях детализации*, начиная от экономики и планирования создания программных продуктов в масштабах страны или предприятия и кончая экономикой выполнения частных операций отдельными специалистами при проектировании или производстве компонентов и конкретных продуктов. Одна из важнейших задач состоит в том, чтобы увязать четкими экономическими категориями взаимодействие разных специалистов и предприятий в типовой производственной цепочке: заказчик–разработчик – изготовитель–пользователь. Для этого объект – программный продукт – и все процессы взаимодействия в цепочке должны быть связаны системой экономических и технических характеристик, в той или иной степени использующих основные экономические показатели – *реальные затраты ресурсов*: финансов, труда и времени специалистов, затрачиваемых на создание конечного продукта.

Проблема состоит в создании и представлении специалистам современных методов экономического анализа, оценивания и *прогнозирования необходимых ресурсов при производстве комплексов программ*. Тем самым, должен быть выделен очень важный, базовый раздел из всей экономики жизненного цикла программных комплексов. Такое выделение определяется тем, что без подобных базовых исследований имеющихся прототипов вряд ли возможно последующее серьезное развитие экономики в этой отрасли. Внимание должно быть сосредоточено на концептуальной основе распределения затрат труда в процессе разработки компонентов и комплексов программ, на *факторах, определяющих реальные трудозатраты и другие экономические характеристики*, а также на исследовании их в реализованных современных разработках.

В жизненном цикле сложных комплексов программ для обеспечения их высокого качества *целесообразно выделять специалистов, ответственных за анализ, оценивание и прогнозирование экономических характеристик производства*, за соблюдение промышленной технологии создания и совершенствование программных продуктов, за измерение и контроль затрат, качества комплексов программ в целом и их компонентов. *Проблема состоит в том, чтобы научить и приучить специалистов* к анализу и оцениванию конкретных экономических факторов, влияющих на характеристики функционирования программных продуктов со стороны реально существующих и потенциально возможных негативных воздействий при производстве при наличии ограничений на ресурсы проектов. Необходимы подготовка и воспитание квалифицированных специалистов *в области индустрии, экономики и производства сложных программных комплексов*, их обучение методам и современной программистской культуре промышленного создания крупных высококачественных программных продуктов.

Литература

- [1] Бозм Б.У. Инженерное проектирование программного обеспечения. Пер. с англ. /Под ред. А.А. Красилова. – М.: Радио и связь, 1985. 512 стр.
- [2] Геци К., Джазайери М., Мандриоли Д. Основы инженерии программного обеспечения. Пер. с англ. – СПб.: БХВ-Петербург. 2005. 832 стр.
- [3] Липаев В.В., Потапов А.И. Оценка затрат на разработку программных средств. – М.: Финансы и статистика. 1988. 224 стр.
- [4] Липаев В.В. Техничко-экономическое обоснование проектов сложных программных средств. – М.: СИНТЕГ. 2004. 284 стр.
- [5] Липаев В.В. Программная инженерия. Методологические основы. Учебник. – М.: ТЕИС. 2006. 608 стр.
- [6] Организация производства и управления предприятием. Учебник. Под ред. О.Г. Туровца. – М.: ИНФРА-М. 2006. 544 стр.
- [7] Соммервилл И. Инженерия программного обеспечения. 6-е издание. Пер. с англ. – М.: Вильямс. 2002. 624 стр.
- [8] Фатрелл Р. Т., Шафер Д. Ф., Шафер Л. И. Управление программными проектами: достижение оптимального качества при минимальных затратах. Пер. с англ. – М.: Вильямс. 2003. 1136 стр.
- [9] Экономика промышленного предприятия. Учебник. Под ред. Е.Л. Кантора. – М.: МарТ. 2007. 864 стр.
- [10] Boehm B.W. et al. Software cost estimation with COCOMO II. Prentice Hall PTR. New Jersey. 2000. 506 стр.
- [11] Grady R. Practical software metrics for project management and process improvement. – Englewood Cliffs. NY. Prentice-Hall. 1992. 376 стр.
- [12] Jones C. Applied software measurement, assuring productivity and quality. McGraw-Hill. NY. 1996. 432 стр.
- [13] Londeix B. Cost estimation for software development. Cornwall: Addison-Wesley. 1987. 312 стр.