

Глава 15: Инженерные основы

Из SWEBOOK

Содержание

- 1 Эмпирические методы и экспериментальная техника
 - 1.1 Разработанный эксперимент
 - 1.2 Наблюдательное исследование
 - 1.3 Ретроспективное исследование
- 2 Статистический анализ
 - 2.1 Единица анализа (единицы выборки), совокупность и выборка
 - 2.2 Концепции корреляции и регрессии
- 3 Измерение
 - 3.1 Уровни (шкалы) измерения
 - 3.2 Прямые и производные показатели
 - 3.3 Надежность и валидность
 - 3.4 Оценка надежности
- 4 Технический проект
 - 4.1 Инженерное проектирование в инженерном образовании
 - 4.2 Дизайн как деятельность по решению проблем
 - 4.3 Этапы инженерного проектирования
- 5 Моделирование, симуляция и прототипирование
 - 5.1 Моделирование
 - 5.2 Моделирование
 - 5.3 Прототип
- 6 стандартов
- 7 Анализ первопричин
 - 7.1 Методы проведения анализа первопричин

АКРОНИМЫ

САПР	Системы автоматизированного проектирования
СММИ	Модель зрелости интеграции
пдф	Функция плотности вероятности
пмф	Функция массы вероятности
RCA	Анализ причин
SDLC	Жизненный цикл разработки программного обеспечения

ВВЕДЕНИЕ

IEEE определяет инженерию как «применение систематического, дисциплинированного, поддающегося количественной оценке подхода к конструкциям, машинам, продуктам, системам или процессам» [1]. В этой главе описываются некоторые базовые инженерные навыки и приемы, полезные инженеру-программисту. Основное внимание уделяется темам, которые поддерживают другие КА, при этом сводя к минимуму дублирование тем, охватываемых в других местах этого документа.

По мере развития теории и практики разработки программного обеспечения становится все более очевидным, что разработка программного обеспечения является инженерной дисциплиной, основанной на знаниях и навыках, общих для всех инженерных дисциплин. Эта область знаний по инженерным основам (КА) связана с инженерными основами, применимыми к разработке программного обеспечения и другим инженерным

дисциплинам. Темы этого КА включают эмпирические методы и экспериментальные техники; статистический анализ; измерение; инженерный дизайн; моделирование, прототипирование и симуляция; стандарты; и анализ первопричин. Применение этих знаний в соответствующих случаях позволит инженерам-программистам разрабатывать и поддерживать программное обеспечение более эффективно и результативно. Эффективное и результативное выполнение своей инженерной работы является целью всех инженеров всех инженерных специальностей.

РАЗБИВКА ТЕМ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ОСНОВ

Разбивка тем для инженерных основ КА показана на рисунке 15.1.

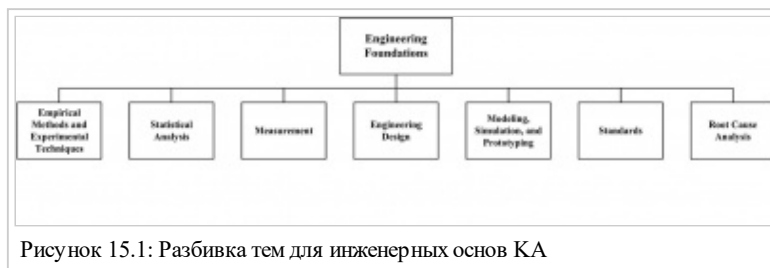


Рисунок 15.1: Разбивка тем для инженерных основ КА

1 Эмпирические методы и экспериментальная техника

[2 , с1]

Инженерный метод решения проблем включает в себя предложение решений или моделей решений, а затем проведение экспериментов или тестов для изучения предложенных решений или моделей. Таким образом, инженеры должны понимать, как создать эксперимент, а затем проанализировать результаты эксперимента, чтобы оценить предлагаемое решение. Эмпирические методы и экспериментальные техники помогают инженеру описывать и понимать изменчивость в своих наблюдениях, выявлять источники изменчивости и принимать решения.

Три различных типа эмпирических исследований, обычно используемых в инженерных разработках, — это запланированные эксперименты, наблюдательные исследования и ретроспективные исследования. Ниже приведены краткие описания наиболее часто используемых методов.

1.1 Разработанный эксперимент

Спланированный или контролируемый эксперимент — это исследование проверяемой гипотезы, в котором одной или несколькими независимыми переменными манипулируют для измерения их влияния на одну или несколько зависимых переменных. Предпосылкой проведения эксперимента является наличие ясной гипотезы. Инженеру важно уметь формулировать четкие гипотезы.

Спланированные эксперименты позволяют инженерам точно определить, как связаны переменные и, в частности, существует ли между ними причинно-следственная связь. Каждая комбинация значений независимых переменных представляет собой *обработку*. В простейших экспериментах есть только две обработки, представляющие два уровня одной независимой переменной (например, использование инструмента или его отсутствие). Более сложные экспериментальные планы возникают, когда используется более двух уровней, более одной независимой переменной или любых зависимых переменных.

1.2 Наблюдательное исследование

Наблюдение или тематическое исследование — это эмпирическое исследование, в ходе которого наблюдают за процессами или явлениями в контексте реальной жизни. В то время как эксперимент преднамеренно игнорирует контекст, наблюдение или тематическое исследование включает контекст как часть наблюдения. Кейс-стади наиболее полезен, когда основное внимание в исследовании уделяется вопросам «*как и почему*», когда нельзя манипулировать поведением тех, кто участвует в исследовании, и когда важны контекстуальные условия, а границы между явлениями и контекстом неясны.

1.3 Ретроспективное исследование

Ретроспективное исследование предполагает анализ исторических данных. Ретроспективные исследования также известны как исторические исследования. В этом типе исследования используются данные (относительно какого-либо явления), которые были заархивированы с течением времени. Затем эти заархивированные данные анализируются в попытке найти взаимосвязь между переменными, предсказать будущие события или выявить тенденции. Качество результатов анализа будет зависеть от качества информации, содержащейся в архивных данных. Исторические данные могут быть неполными, непоследовательно измеренными или неверными.

2 Статистический анализ

[2 , c9s1, c2s1] [3 , c10s3]

Чтобы выполнять свои обязанности, инженеры должны понимать, как различаются характеристики различных продуктов и процессов. Инженеры часто сталкиваются с ситуациями, когда необходимо изучить взаимосвязь между различными переменными. Важно отметить, что большинство исследований проводится на основе выборок, поэтому наблюдаемые результаты необходимо понимать в отношении всего населения. Поэтому инженеры должны развить адекватное понимание статистических методов сбора надежных данных с точки зрения выборки и анализа, чтобы получить результаты, которые можно обобщить. Эти техники обсуждаются ниже.

2.1 Единица анализа (единицы выборки), совокупность и выборка

Единица анализа . При проведении любого эмпирического исследования необходимо проводить наблюдения за выбранными единицами, называемыми единицами анализа или единицами выборки. Единица анализа должна быть идентифицирована и должна соответствовать анализу. Например, когда компания, производящая программный продукт, хочет определить воспринимаемое удобство использования программного продукта, единицей анализа может быть пользователь или функция программного обеспечения.

Население . Совокупность всех респондентов или элементов (возможных единиц выборки), подлежащих изучению, образует генеральную совокупность. В качестве примера рассмотрим случай изучения воспринимаемого удобства использования программного продукта. В этом случае совокупность всех возможных пользователей образует совокупность.

При определении популяции необходимо проявлять осторожность, чтобы понять исследование и целевую популяцию. Бывают случаи, когда изучаемая популяция и популяция, для которой обобщаются результаты, могут различаться. Например, когда изучаемая популяция состоит только из прошлых наблюдений и требуются обобщения на будущее, изучаемая популяция и целевая популяция могут не совпадать.

Образец . Выборка – это подмножество населения. Наиболее важным вопросом при отборе выборки является ее репрезентативность, в том числе размер. Выборки должны быть составлены таким образом, чтобы обеспечить их независимость, а правила отбора выборок должны быть заранее определены, чтобы вероятность отбора той или иной единицы выборки была известна заранее. Этот метод отбора выборок называется *вероятностной выборкой* .

Случайная переменная . В статистической терминологии процесс наблюдения или измерения изучаемых единиц выборки называется проведением эксперимента. Например, если эксперимент состоит в том, чтобы подбросить монету 10 раз, а затем подсчитать, сколько раз монета падает орлом, каждые 10 бросков монеты являются единицей выборки, а количество орлов для данной выборки является наблюдением или результатом для эксперимента. Результат эксперимента выражается в действительных числах и определяет изучаемую случайную величину. Таким образом, атрибут предметов, измеряемых в результате эксперимента, представляет собой изучаемую случайную величину; наблюдение, полученное из конкретной единицы выборки, является конкретной реализацией случайной величины. На примере подбрасывания монеты случайной величиной является количество голов, наблюдаемых в каждом эксперименте. В статистических исследованиях предпринимаются попытки понять характеристики населения на основе выборок.

Множество возможных значений случайной величины может быть конечным или бесконечным, но счетным (например, множество всех целых чисел или множество всех нечетных чисел). В таком случае случайная величина называется *дискретной случайной величиной* . В других случаях рассматриваемая случайная величина может принимать значения на непрерывной шкале и называется *непрерывной случайной величиной* .

Событие . Подмножество возможных значений случайной величины называется событием. Предположим, что X обозначает некоторую случайную величину; тогда, например, мы можем определить различные события, такие как $X \geq x$ или $X < x$ и так далее.

Распределение случайной величины . Диапазон и характер изменения случайной величины задаются ее распределением. Когда известно распределение случайной величины, можно вычислить вероятность любого события. Некоторые распределения встречаются часто и используются для моделирования многих случайных величин, встречающихся на практике в инженерном контексте. Ниже приведены некоторые из наиболее часто встречающихся дистрибутивов.

- **Биномиальное распределение:** используется для моделирования случайных величин, которые подсчитывают количество успехов в n испытаниях, проведенных независимо друг от друга, где каждое испытание приводит к успеху или неудаче. Мы делаем предположение, что шанс на успех остается постоянным [2*, c3s6].

- Распределение Пуассона: используется для моделирования подсчета возникновения некоторого события во времени или пространстве [2*, c3s9].
- Нормальное распределение: используется для моделирования непрерывных случайных величин или дискретных случайных величин с использованием очень большого количества значений [2*, c4s6].

Понятие параметров . Статистическое распределение характеризуется некоторыми параметрами. Например, доля успеха в любом заданном испытании является единственным параметром, характеризующим биномиальное распределение. Точно так же распределение Пуассона характеризуется частотой возникновения. Нормальное распределение характеризуется двумя параметрами: его средним значением и стандартным отклонением.

Как только значения параметров известны, распределение случайной величины полностью известно, и можно вычислить шанс (вероятность) любого события. Вероятности для дискретной случайной величины можно вычислить с помощью функции массы вероятности, называемой pmf. PMF определяется в дискретных точках и дает массу точки, т. е. вероятность того, что случайная величина примет это конкретное значение. Точно так же для непрерывной случайной величины у нас есть функция плотности вероятности, называемая PDF. PDF очень похожа на плотность, и ее необходимо интегрировать по диапазону, чтобы получить вероятность того, что непрерывная случайная величина находится между определенными значениями. Таким образом, если pdf или pmf известны, вероятность того, что случайная величина примет определенный набор значений, может быть рассчитана теоретически.

Концепция оценки [2*, c6s2, c7s1, c7s3]. Истинные значения параметров распределения обычно неизвестны и должны оцениваться по выборочным наблюдениям. Оценки являются функциями выборочных значений и называются статистиками. Например, выборочное среднее является статистикой и может использоваться для оценки среднего значения генеральной совокупности. Точно так же частота возникновения дефектов, оцененная по выборке (частота дефектов на строку кода), является статистикой и служит оценкой скорости возникновения дефектов на строку кода в совокупности. Статистика, используемая для оценки некоторого параметра совокупности, часто называется оценкой параметра.

Очень важно отметить, что результаты самих оценок случайны. Если мы возьмем другую выборку, мы, вероятно, получим другую оценку параметра генеральной совокупности. В теории оценивания нам необходимо понимать различные свойства оценщиков, в частности, насколько оценки могут различаться в зависимости от выборки и как выбирать между различными альтернативными способами получения оценок. Например, если мы хотим оценить среднее значение совокупности, мы можем использовать в качестве нашей оценки среднее значение выборки, медиану выборки, моду выборки или среднее значение выборки. Каждая из этих оценок имеет разные статистические свойства, которые могут влиять на стандартную ошибку оценки.

Типы оценок [2*, c7s3, c8s1]. Существует два типа оценок: точечные оценки и интервальные оценки. Когда мы используем значение статистики для оценки параметра совокупности, мы получаем точечную оценку. Как видно из названия, точечная оценка дает точечное значение оцениваемого параметра.

Хотя часто используются точечные оценки, они оставляют место для многих вопросов. Например, нам ничего не говорят о возможном размере ошибки или статистических свойствах точечной оценки. Таким образом, нам может понадобиться дополнить точечную оценку размером выборки, а также дисперсией оценки. В качестве альтернативы мы могли бы использовать интервальную оценку. Интервальная оценка представляет собой случайный интервал, нижняя и верхняя границы которого являются функциями выборочных наблюдений, а также размера выборки. Пределы рассчитываются на основе некоторых допущений относительно выборочного распределения точечной оценки, на которой основаны пределы.

Свойства оценок . Различные статистические свойства оценок используются для принятия решения о целесообразности оценки в данной ситуации. Наиболее важными свойствами являются то, что оценщик является беспристрастным, эффективным и непротиворечивым по отношению к генеральной совокупности.

Проверка гипотез [2*, c9s1]. Гипотеза — это утверждение о возможных значениях параметра. Например, предположим, что утверждается, что новый метод разработки программного обеспечения снижает количество дефектов. В этом случае гипотеза состоит в том, что скорость возникновения дефектов уменьшилась. При проверке гипотез мы решаем — на основе выборочных наблюдений — следует ли принять предложенную гипотезу или отвергнуть.

Для проверки гипотез формируются нулевая и альтернативная гипотезы. Нулевая гипотеза является гипотезой отсутствия изменений и обозначается как H_0 . Альтернативная гипотеза записывается как H_1 . Важно отметить, что альтернативная гипотеза может быть односторонней или двусторонней. Например, если у нас есть нулевая гипотеза о том, что среднее значение совокупности не меньше некоторого заданного значения, альтернативной гипотезой будет то, что оно меньше этого значения, и у нас будет односторонний тест. Однако,

если у нас есть нулевая гипотеза о том, что среднее значение генеральной совокупности равно некоторому заданному значению, альтернативной гипотезой будет то, что оно не равно, и у нас будет двусторонний тест (поскольку истинное значение может быть либо меньше, либо больше чем заданное значение).

Чтобы проверить некоторую гипотезу, мы сначала вычисляем некоторую статистику. Наряду с вычислением статистики определяется область таким образом, что в случае, если вычисленное значение статистики попадает в эту область, нулевая гипотеза отклоняется. Эта область называется критической областью (также известной как доверительный интервал). При проверке гипотез нам необходимо принять или отклонить нулевую гипотезу на основе полученных доказательств. Отметим, что в общем случае интерес представляет альтернативная гипотеза. Если вычисленное значение статистики не попадает в критическую область, то мы не можем отклонить нулевую гипотезу. Это указывает на то, что нет достаточных оснований полагать, что альтернативная гипотеза верна. Поскольку решение принимается на основе выборочных наблюдений, возможны ошибки;

Природа	Статистическое решение	
	Принять H_0	Отклонить H_0
H_0 верно	ХОРОШО	Ошибка I рода (вероятность = α)
H_0 ложно	Ошибка типа II (вероятность = β)	ХОРОШО

При проверке гипотез мы стремимся максимизировать мощность теста (значение $1-\beta$), гарантируя, что вероятность ошибки первого рода (значение α) поддерживается в пределах определенного значения — обычно 5 процентов.

Следует отметить, что построение проверки гипотезы включает в себя идентификацию статистики (статистик) для оценки параметра (параметров) и определение критической области таким образом, что если вычисленное значение статистики попадает в критическую область, нулевая гипотеза отклоняется. .

2.2 Концепции корреляции и регрессии

[2 , c11c2, c11c8]

Основной целью многих статистических исследований является установление взаимосвязей, позволяющих прогнозировать одну или несколько переменных с точки зрения других. Хотя желательно предсказать количество точно через другое количество, это редко возможно, и во многих случаях мы должны довольствоваться оценкой средних или ожидаемых значений.

Связь между двумя переменными изучается с помощью методов корреляции и регрессии. Обе эти концепции кратко объясняются в следующих параграфах.

Корреляция . Сила линейной зависимости между двумя переменными измеряется с помощью коэффициента корреляции. При вычислении коэффициента корреляции между двумя переменными мы предполагаем, что эти переменные измеряют два разных атрибута одного и того же объекта. Коэффициент корреляции принимает значение от -1 до $+1$. Значения -1 и $+1$ указывают на ситуацию, когда связь между переменными идеальна, т. е. при заданном значении одной переменной можно безошибочно оценить другую. Положительный коэффициент корреляции указывает на положительную связь, т. е. если увеличивается одна переменная, растет и другая. С другой стороны, когда переменные имеют отрицательную корреляцию, увеличение одной ведет к уменьшению другой.

Важно помнить, что корреляция не подразумевает причинно-следственной связи. Таким образом, если две переменные коррелированы, мы не можем заключить, что одна является причиной другой.

Регрессия . Корреляционный анализ измеряет только степень взаимосвязи между двумя переменными. Анализ, направленный на поиск взаимосвязи между двумя переменными, называется регрессионным анализом. Сила связи между двумя переменными измеряется с помощью коэффициента детерминации. Это значение от 0 до 1. Чем ближе коэффициент к 1, тем сильнее связь между переменными. Значение 1 указывает на идеальные отношения.

3 Измерение

[4 , c3s1, c3s2] [5 , cc4s4] [6 , c7s5, c11s8] [7 , p442–447]

Знание того, что измерять и какой метод измерения использовать, имеет решающее значение в инженерных усилиях. Важно, чтобы каждый, кто участвует в инженерном проекте, понимал методы измерения и результаты измерений, которые будут использоваться.

Измерения могут быть физическими, экологическими, экономическими, операционными или какими-либо другими измерениями, имеющими значение для конкретного проекта. В этом разделе исследуется теория измерений и ее фундаментальное значение для инженерии. Измерение начинается с концептуализации, а затем переходит от абстрактных понятий к определениям метода измерения и фактическому применению этого метода для получения результата измерения. Каждый из этих шагов должен быть понят, сообщен и правильно использован для получения пригодных для использования данных. В традиционной инженерии часто используются прямые измерения. В программной инженерии необходимо сочетание как прямых, так и производных показателей [6*, стр. 273].

Теория измерения утверждает, что измерение — это попытка описать лежащую в основе реальную эмпирическую систему. Методы измерения определяют действия, которые присваивают значение или символ атрибуту сущности.

Затем атрибуты должны быть определены с точки зрения операций, используемых для их идентификации и измерения, то есть методов измерения. В этом подходе метод измерения определяется как точно определенная операция, которая дает число (называемое *результатом измерения*) при измерении атрибута. Из этого следует, что для того, чтобы быть полезным, метод измерения должен быть четко определен. Произвольность метода отразится на неоднозначности результатов измерения.

В некоторых случаях — особенно в физическом мире — атрибуты, которые мы хотим измерить, легко понять; однако в искусственном мире, таком как разработка программного обеспечения, определение атрибутов может быть не таким простым. Например, такие атрибуты, как рост, вес, расстояние и т. д. легко и единообразно понимаются (хотя их не всегда легко измерить во всех обстоятельствах), в то время как такие атрибуты, как размер или сложность программного обеспечения, требуют четких определений.

Оперативные определения. Начнем с того, что определение атрибутов часто довольно абстрактно. Такие определения не облегчают измерения. Например, мы можем определить круг как линию, образующую замкнутый контур, так что расстояние между любой точкой на этой линии и фиксированной внутренней точкой, называемой центром, постоянно. Далее мы можем сказать, что фиксированное расстояние от центра до любой точки замкнутого контура дает радиус окружности. Можно отметить, что, хотя понятие было определено, не было предложено никаких средств измерения радиуса. Рабочее определение указывает точные шаги или метод, используемый для выполнения определенного измерения. Это также можно назвать *методом измерения*; иногда может потребоваться еще более точная процедура измерения.

Трудно переоценить важность операционных определений. Возьмем, казалось бы, простое измерение роста людей. Если мы не укажем различные факторы, такие как время, когда будет измеряться рост (известно, что рост людей варьируется в разные моменты времени в течение дня), как будет учитываться изменчивость из-за волос, будет ли измерение с обувью или без, какая точность ожидается (с точностью до дюйма, 1/2 дюйма, сантиметра и т. д.) — даже это простое измерение приведет к существенным отклонениям. Инженеры должны осознавать необходимость определения мер с точки зрения эксплуатации.

3.1 Уровни (шкалы) измерения

[4 , c3s2] [6 , c7s5]

После определения рабочих определений необходимо провести фактические измерения. Следует отметить, что измерение может быть выполнено в четырех различных шкалах: номинальной, порядковой, интервальной и относительной. Краткое описание каждого из них приведено ниже.

Номинальная шкала : это самый низкий уровень измерения и представляет собой наиболее неограниченное назначение цифр. Цифры служат только метками, а также могут служить слова или буквы. Номинальная шкала измерения включает только классификацию, а наблюдаемые единицы выборки помещаются в любую из взаимоисключающих и совокупно исчерпывающих категорий (классов). Некоторые примеры номинальных шкал:

- Должности в компании
- Модель жизненного цикла разработки программного обеспечения (SDLC) (например, каскадная, итеративная, гибкая и т. д.), за которой следуют различные программные проекты.

В номинальной шкале названия различных категорий являются просто метками, и между ними не предполагается никакой связи. Единственные операции, которые могут быть выполнены на номинальной шкале, — это подсчет количества экземпляров в разных классах и определение того, имеют ли два экземпляра одинаковую номинальную стоимость. Однако можно провести статистический анализ, чтобы понять, как объекты, принадлежащие к разным классам, ведут себя по отношению к какой-либо другой переменной отклика.

Порядковая шкала : Относится к шкале измерения, в которой различные значения, полученные в процессе измерения, имеют неявный порядок. Интервалы между значениями не указаны и объективно определенного нулевого элемента нет. Типичными примерами измерений в порядковых шкалах являются:

- Уровни навыков (низкий, средний, высокий)
- Уровни зрелости интеграции модели зрелости возможностей (СММ) организаций, занимающихся разработкой программного обеспечения.
- Уровень соблюдения процесса, измеряемый по 5-балльной шкале: отлично, выше среднего, средне, ниже среднего и плохо.

диапазон от полного соблюдения до полного отсутствия соблюдения

Измерение в порядковой шкале удовлетворяет свойству транзитивности в том смысле, что если $A > B$ и $B > C$, то $A > C$. Однако арифметические операции нельзя выполнять над переменными, измеряемыми в порядковой шкале. Таким образом, если мы измеряем удовлетворенность клиентов по 5-балльной порядковой шкале, где 5 означает очень высокий уровень удовлетворенности, а 1 означает очень высокий уровень неудовлетворенности, мы не можем сказать, что четыре балла в два раза лучше, чем два балла. . Таким образом, лучше использовать такую терминологию, как «отлично», «выше среднего», «средне», «ниже среднего» и «плохо», чем порядковые числа, чтобы избежать ошибки, связанной с трактовкой порядковой шкалы как шкалы отношений. Важно отметить, что мерами порядковой шкалы обычно злоупотребляют, и такое неправильное использование может привести к ошибочным выводам [6*, стр. 274]. Распространенное неправильное использование мер порядковой шкалы состоит в том, чтобы представить среднее значение и стандартное отклонение для набора данных, оба из которых бессмысленны. Однако мы можем найти медиану, так как вычисление медианы включает только подсчет.

Интервальные шкалы : с интервальной шкалой мы приходим к форме, которая является количественной в обычном смысле этого слова. Здесь применимы почти все обычные статистические меры, если только они не требуют знания *истинной нулевой точки*. Нулевая точка на шкале интервалов определяется соглашением. Соотношения не имеют смысла, но разница между уровнями атрибутов может быть вычислена и имеет смысл. Вот несколько примеров интервальной шкалы измерения:

- Измерение температуры в различных шкалах, таких как Цельсий и Фаренгейт. Предположим, что T_1 и T_2 — температуры, измеренные в некоторой шкале. Заметим, что тот факт, что T_1 в два раза больше T_2 , не означает, что один объект в два раза горячее другого. Заметим также, что нулевые точки произвольны.
- Календарные даты. Хотя разница между датами для измерения прошедшего времени является значимой концепцией, соотношение не имеет смысла.
- Многие психологические измерения стремятся создать интервальные шкалы. Интеллект часто измеряется по шкале интервалов, поскольку нет необходимости определять, что означает нулевой интеллект.

Если переменная измеряется в интервальной шкале, большинство обычных статистических анализов, таких как среднее значение, стандартное отклонение, корреляция и регрессия, могут быть выполнены на измеренных значениях.

Шкала отношений : они довольно часто встречаются в физике. Эти шкалы мер характеризуются тем, что существуют операции для определения всех 4-х отношений: равенство, ранговый порядок, равенство интервалов и равенство отношений. Когда такая шкала доступна, ее числовые значения могут быть преобразованы из одной единицы в другую путем простого умножения на константу, например, преобразования дюймов в футы или сантиметры. При проведении измерений в шкале отношений обязательно наличие произвольного нуля. Все статистические меры применимы к шкале отношений; использование логарифмов допустимо только при использовании этих шкал, как в случае с децибелами. Некоторые примеры мер отношения:

- количество операторов в программе
- температура измеряется по шкале Кельвина (K) или Фаренгейта (F).

Дополнительная шкала измерения, абсолютная шкала, представляет собой шкалу отношений с однозначностью меры; т. е. мера, для которой невозможно преобразование (например, количество программистов, работающих над проектом).

3.2 Прямые и производные показатели

[6 , с7с5]

Меры могут быть как прямыми, так и производными (иногда называемыми косвенными мерами). Примером прямого измерения может быть подсчет того, сколько раз произошло событие, например количество дефектов, обнаруженных в программном продукте. Производная мера — это мера, которая объединяет прямые меры каким-либо образом, согласующимся с методом измерения. Примером производной меры может быть расчет продуктивности команды как количества строк кода, разработанных за месяц разработки. В обоих случаях способ измерения определяет метод измерения.

3.3 Надежность и валидность

[4 , c3c4, c3c5]

Основной вопрос, который следует задать для любого метода измерения, заключается в том, действительно ли предлагаемый метод измерения измеряет концепцию с хорошим качеством. Надежность и валидность являются двумя наиболее важными критериями для решения этого вопроса.

Надежность метода измерения — это степень, в которой применение метода измерения дает согласованные результаты измерения. По сути, *надежность* относится к согласованности значений, полученных при многократном измерении одного и того же элемента. Когда результаты согласуются друг с другом, говорят, что метод измерения надежен. Надежность обычно зависит от оперативного определения. Его можно количественно определить с помощью индекса вариации, который рассчитывается как отношение между стандартным отклонением и средним значением. Чем меньше индекс, тем надежнее результаты измерения.

Валидность относится к тому, действительно ли метод измерения измеряет то, что мы намереваемся измерить. Валидность метода измерения можно рассматривать с трех разных точек зрения: конструктивной валидности, валидности критериев и содержательной валидности.

3.4 Оценка надежности

[4 , c3s5]

Существует несколько методов оценки надежности; к ним относятся метод повторного тестирования, метод альтернативной формы, метод разделения пополам и метод внутренней согласованности. Самый простой из них — метод «тест-ретест». В методе ретестирования мы просто дважды применяем метод измерения к одним и тем же испытуемым. Коэффициент корреляции между первым и вторым набором результатов измерения дает надежность метода измерения.

4 Технический проект

[5 , c1c2, c1c3, c1c4]

Стоимость жизненного цикла продукта во многом зависит от конструкции продукта. Это относится как к промышленным продуктам, так и к программным продуктам.

Дизайн программного продукта определяется функциями, которые должны быть включены, и атрибутами качества, которые должны быть предоставлены. Важно отметить, что разработчики программного обеспечения используют термин «дизайн» в своем собственном контексте; хотя есть некоторые общие черты, существует также много различий между инженерным проектированием, как описано в этом разделе, и проектированием программного обеспечения, как описано в Проекте программного обеспечения КА. Область инженерного проектирования обычно рассматривается как гораздо более широкая, чем область разработки программного обеспечения. Основной целью этого раздела является определение концепций, необходимых для четкого понимания процесса инженерного проектирования.

Многие дисциплины участвуют в деятельности по решению проблем, где есть единственное правильное решение. В инженерии большинство проблем имеют множество решений, и основное внимание уделяется поиску возможного решения (среди множества альтернатив), которое наилучшим образом соответствует предъявляемым требованиям. Набор возможных решений часто ограничивается явно наложенными ограничениями, такими как стоимость, доступные ресурсы и состояние дисциплины или знания предметной области. В инженерных задачах иногда также существуют неявные ограничения (такие как физические свойства материалов или законы физики), которые также ограничивают набор допустимых решений для данной проблемы.

4.1 Инженерное проектирование в инженерном образовании

Важность инженерного проектирования в инженерном образовании ясно видна по высоким ожиданиям различных органов по аккредитации инженерного образования. И Канадский совет по инженерной аккредитации, и Совет по аккредитации инженеров и технологий (ABET) отмечают важность включения инженерного проектирования в образовательные программы.

Канадский совет по инженерной аккредитации включает требования к количеству опыта инженерного проектирования / курсовой работы, необходимого для студентов-инженеров, а также к квалификации преподавателей, которые преподают такую курсовую работу или руководят проектными проектами. Их критерии аккредитации гласят:

- Проектирование: способность разрабатывать решения для сложных, открытых инженерных проблем и разрабатывать системы, компоненты или процессы, отвечающие определенным потребностям, с надлежащим вниманием к рискам для здоровья и безопасности, применимым стандартам, а также экономическим, экологическим, культурным и социальным соображениям. [8, стр. 12]

Аналогичным образом ABET определяет инженерный дизайн как

- процесс разработки системы, компонента или процесса для удовлетворения желаемых потребностей. Это процесс принятия решений (часто повторяющийся), в котором фундаментальные науки, математика и инженерные науки применяются для оптимального преобразования ресурсов для удовлетворения этих заявленных потребностей. [9, с.4]

Таким образом, становится ясно, что инженерное проектирование является жизненно важным компонентом обучения и образования всех инженеров. Оставшаяся часть этого раздела будет посвящена различным аспектам инженерного проектирования.

4.2 Дизайн как деятельность по решению проблем

[5 , с1с4, с2с1, с3с3]

Следует отметить, что инженерное проектирование – это, прежде всего, деятельность по решению проблем. Проблемы дизайна открыты и более расплывчато определены. Обычно существует несколько альтернативных способов решения одной и той же проблемы. Дизайн обычно считается *злой проблемой*— термин, впервые введенный Хорстом Рителем в 1960-х годах, когда методы проектирования вызывали повышенный интерес. Риттель искал альтернативу линейной пошаговой модели процесса проектирования, которую изучают многие дизайнеры и теоретики дизайна, и утверждал, что большинство проблем, решаемых дизайнерами, являются коварными проблемами. Как объяснил Стив МакКоннелл, серьезная проблема — это та, которую можно четко определить, только решив ее или решив ее часть. Этот парадокс, по сути, подразумевает, что сложную проблему нужно решить один раз, чтобы четко определить ее, а затем решить еще раз, чтобы создать работающее решение. Это было важным открытием для разработчиков программного обеспечения в течение нескольких десятилетий [10*, с5с1].

4.3 Этапы инженерного проектирования

[7 , с4]

Решение инженерных проблем начинается, когда потребность признана и никакое существующее решение не может удовлетворить эту потребность. В рамках решения этой проблемы должны быть определены цели проектирования, которые должны быть достигнуты решением. Кроме того, должен быть определен набор критериев приемлемости, которые должны использоваться для определения того, насколько хорошо предлагаемое решение удовлетворит потребность. Как только потребность в решении проблемы определена, процесс инженерного проектирования состоит из следующих общих шагов:

- а) определить проблему
- б) собрать необходимую информацию
- в) генерировать несколько решений
- г) анализировать и выбирать решение
- д) реализовать решение

Все этапы инженерного проектирования являются итеративными, и знания, полученные на любом этапе процесса, могут быть использованы для информирования более ранних задач и инициирования итерации в процессе. Эти шаги расширены в последующих разделах

а . Определите проблему .

На этом этапе собираются требования заказчика. Конкретная информация о функциях и особенностях продукта также тщательно изучается. Этот шаг включает в себя уточнение формулировки проблемы, чтобы определить реальную проблему, которую необходимо решить, и определение целей и критериев успеха проектирования.

Постановка задачи является важнейшим этапом инженерного проектирования. Следует отметить, что этот шаг обманчиво прост. Таким образом, необходимо проявлять достаточную осторожность, чтобы выполнить этот шаг разумно. Важно определить потребности и связать критерии успеха с требуемыми характеристиками

продукта. Также инженерной задачей является ограничение масштабов проблемы и ее решение путем переговоров между заинтересованными сторонами.

б . Соберите соответствующую информацию .

На этом этапе дизайнер пытается расширить свои знания о проблеме. Это жизненно важный этап, но им часто пренебрегают. Сбор соответствующей информации может выявить факты, ведущие к переопределению проблемы, в частности, могут быть выявлены ошибки и фальстарты. Этот шаг может также включать декомпозицию проблемы на более мелкие, более легко решаемые подзадачи.

При сборе соответствующей информации необходимо проявлять осторожность, чтобы определить, как продукт может быть использован, а также как он может использоваться не по назначению. Также важно понимать воспринимаемую ценность предлагаемого продукта/услуги. В соответствующую информацию включен список ограничений, которым должно удовлетворять решение или которые могут ограничивать набор допустимых решений.

в . Сгенерируйте несколько решений .

На этом этапе вырабатываются разные решения одной и той же проблемы. Уже было сказано, что проблемы дизайна имеют несколько решений. Целью этого шага является концептуализация нескольких возможных решений и уточнение их до достаточного уровня детализации, чтобы их можно было сравнить.

д . Проанализируйте и выберите решение .

После определения альтернативных решений их необходимо проанализировать, чтобы определить решение, которое лучше всего подходит для текущей ситуации. Анализ включает в себя функциональный анализ для оценки того, будет ли предлагаемый проект соответствовать функциональным требованиям. Физические решения, в которых участвуют пользователи-люди, часто включают анализ эргономики или удобства использования предлагаемого решения. Другие аспекты решения, такие как безопасность продукта и ответственность, экономический или рыночный анализ для обеспечения рентабельности (прибыли) решения, прогнозы производительности и анализ для соответствия характеристикам качества, возможности неверного ввода данных или сбоев в работе оборудования и т. д. - можно изучать.

э . Реализовать решение .

Завершающим этапом процесса проектирования является реализация. Внедрение относится к разработке и тестированию предлагаемого решения. Иногда предварительное, частичное решение, называемое *прототипом*, может быть первоначально разработано для проверки предлагаемого проектного решения в определенных условиях. Обратная связь, полученная в результате тестирования прототипа, может быть использована либо для уточнения конструкции, либо для выбора альтернативного проектного решения. Одним из наиболее важных действий в проектировании является документирование проектного решения, а также компромиссов для выбора, сделанного при разработке решения. Эта работа должна выполняться таким образом, чтобы решение проблемы проектирования можно было четко сообщить другим.

Тестирование и проверка возвращают нас к критериям успеха. Инженер должен разработать тесты таким образом, чтобы продемонстрировать способность проекта соответствовать критериям успеха. При разработке тестов инженер должен продумать различные возможные режимы отказа, а затем разработать тесты на основе этих режимов отказа. Инженер может решить провести запланированные эксперименты, чтобы оценить обоснованность проекта.

5 Моделирование, симуляция и прототипирование

[5 , с6] [11 , с13с3] [12 , с2с3.1]

Моделирование является частью процесса абстрагирования, используемого для представления некоторых аспектов системы. Моделирование использует модель системы и предоставляет средства для проведения запланированных экспериментов с этой моделью, чтобы лучше понять систему, ее поведение и отношения между подсистемами, а также для анализа аспектов дизайна. Моделирование и симуляция — это методы, которые можно использовать для построения теорий или гипотез о поведении системы; Затем инженеры используют эти теории, чтобы делать прогнозы относительно системы. Прототипирование — это еще один процесс абстракции, в ходе которого строится частичное представление (которое охватывает интересные аспекты) продукта или системы. Прототип может быть начальной версией системы, но не иметь полной функциональности окончательной версии.

5.1 Моделирование

Модель всегда является абстракцией некоторого реального или воображаемого артефакта. Инженеры используют модели разными способами как часть своей деятельности по решению проблем. Некоторые модели являются физическими, например, сделанная в масштабе миниатюрная конструкция моста или здания. Другие модели могут быть нефизическими представлениями, такими как чертеж зубчатого колеса в САПР или математическая модель процесса. Модели помогают инженерам рассуждать и понимать аспекты проблемы. Они также могут помочь инженерам понять, что они знают и чего не знают о рассматриваемой проблеме.

Существует три типа моделей: иконические, аналоговые и символические. Иконическая модель — это визуально эквивалентное, но неполное двухмерное или трехмерное представление, например, карты, глобусы или построенные в масштабе модели сооружений, таких как мосты или автомагистрали. Иконическая модель действительно напоминает смоделированный артефакт.

Напротив, аналоговая модель представляет собой функционально эквивалентное, но неполное представление. То есть модель ведет себя как физический артефакт, даже если физически не похожа на него. Примеры аналоговых моделей включают миниатюрный самолет для испытаний в аэродинамической трубе или компьютерное моделирование производственного процесса.

Наконец, символическая модель — это более высокий уровень абстракции, где модель представлена с помощью символов, таких как уравнения. Модель фиксирует соответствующие аспекты процесса или системы в символической форме. Затем символы можно использовать для улучшения понимания инженером конечной системы. Примером может служить такое уравнение, как $F = Ma$. Такие математические модели можно использовать для описания и прогнозирования свойств или поведения конечной системы или продукта.

5.2 Моделирование

Все имитационные модели являются спецификацией реальности. Центральным вопросом моделирования является абстрагирование и определение соответствующего упрощения реальности. Разработка этой абстракции имеет жизненно важное значение, так как неправильная спецификация абстракции сделает недействительными результаты моделирования. Моделирование может использоваться для различных целей тестирования.

Моделирование классифицируется в зависимости от типа изучаемой системы. Таким образом, моделирование может быть как непрерывным, так и дискретным. В контексте разработки программного обеспечения основное внимание будет уделяться дискретному моделированию. Дискретное моделирование может моделировать планирование событий или взаимодействие процессов. Основными компонентами такой модели являются сущности, действия и события, ресурсы, состояние системы, часы моделирования и генератор случайных чисел. Выходные данные генерируются моделированием и должны быть проанализированы.

Важной проблемой при разработке дискретного моделирования является проблема инициализации. Прежде чем можно будет запустить симуляцию, должны быть предоставлены начальные значения всех переменных состояния. Поскольку разработчик моделирования может не знать, какие начальные значения подходят для переменных состояния, эти значения могут быть выбраны несколько произвольно. Например, может быть решено, что очередь должна быть инициализирована как пустая и бездействующая. Такой выбор начальных условий может иметь значительное, но незаметное влияние на результат моделирования.

5.3 Прототип

Построение прототипа системы — еще один процесс абстракции. В этом случае создается начальная версия системы, часто в процессе проектирования системы. Это помогает дизайнерам определить осуществимость своего проекта.

Прототип можно использовать по-разному, включая выявление требований, разработку и уточнение пользовательского интерфейса системы, проверку функциональных требований и т. д. Цели и задачи построения прототипа будут определять его конструкцию и используемый уровень абстракции.

Роль прототипирования несколько различается между физическими системами и программным обеспечением. В случае физических систем прототип может фактически быть первой полнофункциональной версией системы или моделью системы. В программной инженерии прототипы также являются абстрактной моделью части программного обеспечения, но обычно не создаются со всеми архитектурными, производительными и другими характеристиками качества, ожидаемыми от готового продукта. В любом случае создание прототипа должно иметь четкую цель и быть спланировано, контролироваться и контролироваться — это метод изучения конкретной проблемы в ограниченном контексте [6*, c2s8].

В заключение можно сказать, что моделирование, симуляция и создание прототипов являются мощными методами изучения поведения системы с заданной точки зрения. Все они могут быть использованы для проведения запланированных экспериментов по изучению различных аспектов системы. Однако это абстракции, и поэтому они могут не моделировать все интересующие атрибуты.

6 стандартов

[5 , c9s3.2] [13 , c1s2]

Мур утверждает, что

- стандарт может быть;
 - (a) объект или мера сравнения, которая определяет или представляет величину единицы;
 - (b) характеристика, устанавливающая допустимые допуски для категорий изделий;
 - и (c) степень или уровень необходимого мастерства или достижения.
- Стандарты носят определяющий характер и устанавливаются либо для дальнейшего понимания и взаимодействия, либо для признания наблюдаемых (или

желаемые) нормы проявляемых характеристик или поведения. [13*, стр.8]

Стандарты содержат требования, спецификации, рекомендации или характеристики, которые инженеры должны соблюдать, чтобы продукты, процессы и материалы имели приемлемый уровень качества. Качества, обеспечиваемые различными стандартами, могут относиться к безопасности, надежности или другим характеристикам продукта. Стандарты считаются критически важными для инженеров, и ожидается, что инженеры будут знакомы с соответствующими стандартами и будут использовать их в своей области.

Соответствие или соответствие стандарту позволяет организации заявить общественности, что они (или их продукция) соответствуют требованиям, изложенным в этом стандарте. Таким образом, стандарты делят организации или их продукцию на те, которые соответствуют стандарту, и те, которые не соответствуют. Чтобы стандарт был полезным, соответствие ему должно добавлять ценность — реальную или предполагаемую — к продукту, процессу или усилиям.

Помимо организационных целей, стандарты используются для ряда других целей, таких как защита покупателя, защита бизнеса и более точное определение методов и процедур, которым должна следовать практика. Стандарты также предоставляют пользователям общую терминологию и ожидания.

Существует множество международно признанных организаций по разработке стандартов, включая Международный союз электросвязи (МСЭ), Международную электротехническую комиссию (МЭК), IEEE и Международную организацию по стандартизации (ИСО). Кроме того, существуют региональные и признанные правительством организации, которые разрабатывают стандарты для этого региона или страны. Например, в США насчитывается более 300 организаций, разрабатывающих стандарты. К ним относятся такие организации, как Американский национальный институт стандартов (ANSI), Американское общество испытаний и материалов (ASTM), Общество автомобильных инженеров (SAE) и Underwriters Laboratories, Inc. (UL), а также правительство США. . Дополнительные сведения о стандартах, используемых в разработке программного обеспечения, см. в Приложении В о стандартах.

В основе стандартов лежит набор часто используемых принципов. Разработчики стандартов стараются достичь консенсуса в отношении своих решений. Обычно сообщество по интересам открыто, так что после того, как стандарт установлен, есть большая вероятность, что он будет широко принят. Большинство организаций по стандартизации имеют четко определенные процессы для своих усилий и тщательно придерживаются этих процессов. Инженеры должны знать о существующих стандартах, но также должны обновлять свое понимание стандартов, поскольку эти стандарты со временем меняются.

Во многих инженерных начинаниях знание и понимание применимых стандартов имеет решающее значение, и закон может даже требовать использования определенных стандартов. В этих случаях стандарты часто представляют собой минимальные требования, которым должны соответствовать усилия, и, таким образом, являются элементом ограничений, налагаемых на любые усилия по проектированию. Инженер должен просмотреть все текущие стандарты, относящиеся к данному начинанию, и определить, какие из них должны быть соблюдены. Затем их проекты должны включать все без исключения ограничения, налагаемые применимым стандартом. Стандарты, важные для инженеров-программистов, обсуждаются более подробно в приложении, специально посвященном этому вопросу.

7 Анализ первопричин

[4 , c5, c3s7, c9s8] [5 , c9s3, c9s4, c9s5] [13 , c13s3.4.5]

Анализ первопричин (RCA) — это процесс, предназначенный для расследования и определения того, почему и как произошло нежелательное событие. Первопричины — это первопричины. Исследователь должен попытаться определить конкретные основные причины произошедшего события. Основной целью RCA является предотвращение повторения нежелательного события. Таким образом, чем более конкретно исследователь сможет объяснить, почему произошло событие, тем легче будет предотвратить его повторение. Обычный способ определить конкретную основную причину (причины) — задать ряд вопросов «*почему*».

7.1 Методы проведения анализа первопричин

[4 , с5] [5 , с3]

Существует множество подходов, используемых как для контроля качества, так и для анализа первопричин. Первым шагом в любом анализе первопричин является выявление реальной проблемы. Для выявления и уточнения реальной проблемы, которую необходимо решить, используются такие методы, как формулировка-переформулировка, диаграммы «почему-почему», метод пересмотра, диаграммы текущего состояния и желаемого состояния, а также подход «свежим взглядом».

После выявления реальной проблемы можно начинать работу по определению причины проблемы. Исикава известен семью инструментами контроля качества, которые он продвигал. Некоторые из этих инструментов помогают определить причины данной проблемы. Этими инструментами являются контрольные листы или контрольные списки, диаграммы Парето, гистограммы, динамические диаграммы, диаграммы рассеяния, контрольные диаграммы и диаграммы «рыбий скелет» или причинно-следственные диаграммы. Совсем недавно появились другие подходы к улучшению качества и анализу первопричин. Некоторыми примерами этих новых методов являются диаграммы сходства, диаграммы отношений, древовидные диаграммы, матричные диаграммы, диаграммы матричного анализа данных, диаграммы программы принятия решений и стрелочные диаграммы. Некоторые из этих методов кратко описаны ниже.

Диаграмма «рыбий скелет» или причинно-следственная диаграмма — это способ визуализировать различные факторы, влияющие на некоторые характеристики. Основная линия на диаграмме представляет проблему, а соединительные линии представляют факторы, которые привели к проблеме или повлияли на нее. Эти факторы разбиваются на подфакторы и под-подфакторы до тех пор, пока не будут определены основные причины.

Очень простой подход, полезный при контроле качества, — это использование контрольного списка. Контрольные списки — это список ключевых моментов в процессе с задачами, которые необходимо выполнить. По мере выполнения каждой задачи она вычеркивается из списка. Если возникает проблема, то иногда контрольный список может быстро определить задачи, которые могли быть пропущены или выполнены лишь частично.

Наконец, диаграммы отношений — это средство отображения сложных отношений. Они дают визуальную поддержку причинно-следственному мышлению. Диаграмма связывает частное с общим, выявляя ключевые причины и ключевые следствия.

Анализ первопричин направлен на предотвращение повторения нежелательных событий. Уменьшение изменчивости из-за общих причин требует использования ряда методов. Важно отметить, что эти методы следует использовать в автономном режиме и не обязательно в качестве прямой реакции на возникновение какого-либо нежелательного события. Некоторые из методов, которые могут быть использованы для уменьшения вариаций, вызванных общими причинами, приведены ниже.

- 1. Диаграммы причинно-следственных связей могут использоваться для определения под- и под-подпричин.
- 2. Анализ дерева отказов — это метод, который можно использовать для понимания источников отказов.
- 3. Спланированные эксперименты могут быть использованы для понимания влияния различных причин на возникновение нежелательных событий (см. Эмпирический анализ).

Методы и методики эксперимента в этом КА).

- 4. Для понимания взаимосвязи между различными причинами и их воздействием можно использовать различные виды корреляционного анализа. Эти методы можно использовать в тех случаях, когда проведение контролируемых экспериментов затруднено, но можно собрать данные (см. «Статистический анализ» в этом КА).

ДАЛЬНЕЙШИЕ ЧТЕНИЯ

Абран А., *Метрики программного обеспечения и метрология программного обеспечения* . [14]

В этой книге содержится очень хорошая информация о правильном использовании терминов «мера», «метод измерения» и «результат измерения». Он обеспечивает прочный вспомогательный материал для всего раздела, посвященного измерению.

WG Vincenti, *Что знают инженеры и откуда они это знают* . [15]

Эта книга представляет собой интересное введение в инженерные основы с помощью серии тематических исследований, которые показывают, как многие из основополагающих концепций используются в реальных инженерных приложениях.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- [1] IEEE, *ISO/IEC/IEEE 24765:2010 Системная и программная инженерия. Словарь, ISO/IEC/IEEE , ISO/IEC/IEEE, 2010.*
- [2] Монгомери Д.С. и Рангер Г.К., *Прикладная статистика и вероятность для инженеров* , 4-е изд., Wiley, 2007.
- [3] Л. Нулл и Дж. Лобур, *Основы компьютерной организации и архитектуры* , 2-е изд., издательство Jones and Bartlett Publishers, 2006.
- [4] С. Х. Кан, *Метрики и модели в разработке качества программного обеспечения* , 2-е изд., Addison-Wesley, 2002.
- [5] Г. Воланд, *Проектирование по дизайну* , 2-е изд., Прентис Холл, 2003.
- [6] RE Fairley, *Управление и руководство программными проектами* , Wiley-IEEE Computer Society Press, 2009.
- [7] С. Токи, *Окупаемость программного обеспечения: максимизация окупаемости инвестиций в программное обеспечение* , Addison-Wesley, 2004.
- [7] С. Токи, *Окупаемость программного обеспечения: максимизация окупаемости инвестиций в программное обеспечение* , Addison-Wesley, 2004.
- [8] Канадский совет по инженерной аккредитации, Engineers Canada, «Критерии и процедуры аккредитации», Канадский совет профессиональных инженеров, 2011 г., www.engineerscanada.ca/files/w_Accreditation_Criteria_Procedures_2011.pdf.
- [9] Комиссия по инженерной аккредитации ABET, «Критерии аккредитации инженерных программ, 2012-2013», ABET, 2011, www.abet.org/uploadedFiles/Accreditation/Accreditation_Process/Accreditation_Documents/Current/eaccriteria-2012-2013.pdf.
- [10] С. МакКоннелл, *Code Complete* , 2-е изд., Microsoft Press, 2004.
- [11] EW Cheney и DR Kincaid, *Numerical Mathematics and Computing* , Brooks/Cole, 2007.
- [12] *Software Engineering* , 9-е изд., Addison-Wesley, 2011.
- [13] Дж. В. Мур, *Дорожная карта разработки программного обеспечения: руководство* , основанное на стандартах, издательство Wiley-IEEE Computer Society Press, 2006.
- [14] А. Абран, *Метрики программного обеспечения и метрология программного обеспечения* , издательство Wiley-IEEE Computer Society Press, 2010.
- [15] WG Vincenti, *What Engineers Know and How They Know It* , John Hopkins University Press, 1990.

Получено с " http://swbokwiki.org/index.php?title=Chapter_15:_Engineering_Foundations&oldid=848 "

■ Последнее изменение этой страницы состоялось 29 августа 2015 г., в 06:36.