

ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В ИНЖЕНЕРИИ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ

Л.Е. Матвеева¹, Т.Н. Гориславец²

¹Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины,
Киев, 03187, проспект Академика Глушкова, 40, факс: 526 7418, тел: 526 0058,
e-mail: imatveeva@luxoft.com

²Люксофт-Украина, Киев-03040, ул. Васильковская, 14,
факс: 238 8109, тел: 238 8108(6732),
e-mail: tgorislavets@luxoft.com

Эффективный и корректно исполняемый процесс производства программных систем в рамках средних и больших проектов является определяющим фактором качества этих систем. С целью предупреждения возникновения дефектов в процессах руководители проектов должны регулярно проводить анализ процессов. Моделирование процессов является важной частью их анализа. Статистические модели процессов позволяют оценивать и прогнозировать состояние применяемых процессных практик. В данной работе представлены примеры практического применения статистического подхода в управлении; для контроля и прогнозирования возможностей процессов используются метод, основанный на расчёте значений контрольных пределов контрольных карт процессов, а также метод, базирующийся на построении Модели Показателей Процесса.

Ability to manage performance of software engineering processes contributes to the quality of developed software systems. By analyzing the processes' models it is possible to gain deeper insight into the nature of the processes, control and improve them, and therefore enhance the software product quality. This paper presents the examples of the statistical process control methods use, namely Process Capability Baselines establishment and their analysis by means of control charts, and development of Process Performance Model which is used to predict the value of process performance measure.

Введение

Управление процессом производства программных систем, основанное на статистических подходах и анализе параметрических характеристик процесса, является одним из основных признаков зрелости процесса [1]. Зрелый технологический процесс производства состоит из взаимосвязанных процессов, и каждый процесс характеризуется одним или несколькими параметрами, значения которых варьируются в определенных контролируемых пределах. По характеру и величине вариаций можно определить состояние и стабильность процесса, а также прогнозировать его развитие. Управление производственным процессом в ИТ-проектах переходит на качественно более высокий уровень, если оно основывается на контроле и статистическом анализе вариаций параметров процессов. Следующей ступенью развития зрелости управления является использование численных моделей процессов, которые позволяют видеть перспективы развития проекта, корректировать и совершенствовать процессы непосредственно в ходе проекта.

Неэффективно построенный или выполненный с нарушениями процесс ведет к появлению дефектов, которые, в свою очередь, являются источником большинства проблем в проектах. С целью предупреждения возникновения такого рода проблем руководители проектов должны регулярно проводить анализ процессов, выявлять и исправлять выявленные дефекты в процессах, выстраивать адекватные производству эффективные процессы [2]. Настройка процессов разработки должна быть основана на анализе их параметров. При этом моделирование процессов является важной частью этого анализа. Статистическая модель процесса дает методы оценивания и диагностики состояния применяемых процессных практик; помогает обнаруживать ошибки и слабые места на ранних стадиях жизненного цикла проектов, тем самым минимизируя затраты на их исправление; помогает устанавливать цели и приоритеты по усовершенствованию процессов.

Метод Статистического Управления Процессом

Одним из наиболее известных и проверенных практикой методов управления процессом ИТ-производства является Метод Статистического Управления Процессом (SPC – Statistical Process Control) [3]. В данном методе применяется подход, основанный на построении Базовых Показателей Возможностей Процесса (PCB – Process Capability Baselines). Базовые Показатели Возможностей Процесса вычисляются для установленного стандартизированного процесса и определяют его технические и эксплуатационные характеристики. SPC подход включает мониторинг специально отобранных регулярно собираемых метрических данных и их анализ с учётом Базовых Показателей Возможностей Процесса (рис. 1).

Известно, что характеристики процессов демонстрируют изменчивость во время их непрерывного измерения. Это происходит как по общим или случайным причинам (нормальная вариация процесса) (common causes) – такая изменчивость свойственна любому процессу и находится в предсказуемых пределах, так и по неслучайным или особым причинам (assignable causes) – такие причины могут быть проанализированы и устранены.



Рис. 1. SPC подход

Статистическое управление процессом состоит в корректировке процесса в том случае, если в ходе измерения характеристики процесса ее значение выходит за определенные для этого процесса пределы. Поскольку при определении приемлемых пределов изменчивости учитывается допустимый уровень, то любое превышение этих пределов рассматривается как результат действия особых причин, которые следует выявить и проанализировать, а затем устранить или ослабить. При этом важно вырабатывать понимание того, когда особая причина достаточно существенна, чтобы обратить на неё внимание. Если значения измерений регулярно выходят за принятый диапазон нормальной вариации процесса, то он является нестабильным. Если особые причины устранены, и путем применения соответствующих корректирующих действий удастся предупредить их повторное появление, то процесс считается стабильным. Если процесс стабильный и при этом удовлетворяет требованиям заказчика и стандартизированным требованиям компании, то такой процесс является зрелым, и показатели

возможностей такого процесса совпадают с базовыми показателями, определенными в компании или заданными заказчиком.

SPC подход фокусируется преимущественно на анализе параметров процессов с помощью стратегии шести шагов процесса измерения (см. рис. 1), использования контрольных карт (control charts) У. Шухарта ([3, 4]) и установления контрольных пределов допустимой вариации процесса. Значения верхнего контрольного предела (UCL – Upper Control Limit) и нижнего контрольного предела (LCL – Lower Control Limit) контрольной карты рассчитываются на основании метода 3-х сигма (3σ , где σ – среднеквадратичное отклонение). Правило «трех сигма», частный случай нормального закона распределения, гласит, что вероятность того, что случайная величина отклонится от своего математического ожидания на величину, большую, чем утроенное среднеквадратичное отклонение, практически равна нулю. У. Шухарт и его последователи обосновали выбор контрольных пределов на уровне $\pm 3\sigma$ тем, что такой выбор даёт необходимую чувствительность к особым причинам (assignable causes), отсеивая несущественные общие (common causes). В современной литературе встречаются различные модификации исходной методологии для расчета контрольных пределов контрольной карты. Символ σ понимается, скорее, не как параметр нормального распределения, а как характеристика разброса данных, полученная из анализа этих же данных.

При применении данного подхода следует учитывать, что его можно эффективно применять лишь в организациях, в которых установлены зрелые практики измерения и соответствующая процессная среда. Кроме того, для применения методов статистического анализа требуются достаточно большие выборки значений процессных параметров.

Модель Показателей Процесса

Модель Показателей Процесса (Process Performance Model) используется для прогнозирования и анализа технических характеристик и эксплуатационных показателей процесса на основе измерений параметров продукта и процессов жизненного цикла проекта. Модель Показателей Процесса (МПП) является одной из реализаций подхода SPC. При построении МПП выбираются ключевые (критические) для управления процессы. МПП включает в себя:

- входные данные модели – набор базовых значений атрибутов процессов, исторические данные, используемые для построения модели процесса;

- выходные данные модели – прогнозируемые значения и границы параметров модели процессов;

- правила (формулы) вычисления прогнозируемых значений.

В ходе использования модели происходит:

- сбор и вычисление входных данных модели;

- настройка вычисления прогнозируемых значений;

- сбор и анализ фактических значений.

Для реализации МПП необходимо установить эффективную Программу и Систему Измерений, которая представляет собой набор процедур и инструментальных средств, поддерживающих сбор и анализ метрик на различных уровнях управления производством программного продукта [5]. При разработке и планировании эффективной Программы и Системы Измерений необходимо определить и задокументировать метрики, их описание, формулу и правила расчета, способ хранения, процедуру использования и анализа, а также интерпретацию значений метрик. Метрика – это показатель, характеризующий процесс (или продукт, или проект) и определяемый на базе измерений параметров процесса (или продукта, или проекта). Метрики бывают простые (атомарные), и составные (производные), которые вычисляются на базе простых метрик, например: простая или атомарная метрика – количество обнаруженных в программном коде дефектов (defects), примером составной или производной метрики является плотность дефектов (defects density) – соотношение количества дефектов и количество строк кода, в которых выявлены эти дефекты. Для выбранных метрик следует определить набор Базовых Показателей Возможностей Процесса, который включает прогнозируемые значения верхнего и нижнего пределов диапазона и центральной линии ее нормальной вариации. Необходимо также установить критерии качества, используя собственные исторические данные, требования заказчика или данные эталонного тестирования, полученные в отраслевой производственной практике.

МПП, полученная на основании Программы и Системы Измерений и Базовых Показателей Возможностей Процесса, является лишь описательным инструментом. Проверка модели, ее доработка и совершенствование выполняются путем применения на практике. Так происходит интеграция метрик в процесс, которая включает в себя анализ метрик и процедуру их сбора, диагностику использования метрик и, как следствие, определённые корректирующие действия, направленные на адаптацию метрик и более эффективное их применение. Сравнивая процесс с МПП можно построить рациональный путь совершенствования процесса. Следует отметить, что акцент ставится не на формальном использовании модели, а на понимании характеристик и особенностей процесса. Данный подход опирается более на приемлемость для практики, чем на модельную строгость.

Далее представлены примеры построения МПП и применения SPC подхода в инженерии качества процессов, отобранные из производственной практики ИТ-компаний Украины.

Пример применения метода контрольных пределов

Далее приведен алгоритм расчёта значений контрольных пределов, который является общеприменимым в зрелых ИТ-компаниях.

$$\begin{array}{lll}
 \text{Если } \sigma / X_m \leq 0.1, \text{ то} & UCL = X_m + 3\sigma & LCL = X_m - 3\sigma \\
 \text{если } \sigma / X_m \leq 0.25, \text{ то} & UCL = X_m + 2\sigma & LCL = X_m - 2\sigma \\
 \text{если } \sigma / X_m \leq 0.5, \text{ то} & UCL = X_m + \sigma & LCL = X_m - \sigma \\
 \text{если } \sigma / X_m > 0.5, \text{ то} & UCL = X_m + 0.5\sigma & LCL = X_m - 0.5\sigma
 \end{array} \tag{1}$$

где $X_m = (X_1 + X_2 + \dots + X_n) / n$ – среднее арифметическое выборки, $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - X_m)^2}$ – среднеквадратичное

отклонение.

В проектах зрелой компании, как правило, определяются критические процессы и метрики, которые используются для управления процессами. Эти метрики находятся под статистическим контролем в течение выполнения проекта/части (фазы жизненного цикла, итерации) проекта. Статистический контроль включает следующее:

- данные по метрикам собираются еженедельно в специализированном хранилище (при разработке Программы и Системы Измерений требуется создать интегрированную структуру для хранения метрик);
- собранные за неделю значения метрик включаются в общие наборы данных, накопленные за предыдущие недели, и для каждой метрики автоматически пересчитываются верхний и нижний контрольные пределы диапазона и центральная линия ее нормальной вариации (см. алгоритм расчёта (1));
- система Измерений позволяет отслеживать разброс данных, которые не должны выходить за полученные контрольные пределы; значения, которые вышли за контрольные пределы, регистрируются, и отсылается соответствующее сообщение руководителю проекта;
- руководитель проекта рассматривает все полученные значения и анализирует те, которые выходят за контрольные пределы, при этом, исследуются причины выхода за пределы;
- руководитель проекта вырабатывает корректирующие действия по процессу в случае отклонения полученных значений от целей проекта или выхода значений за определенные пределы.

В зрелой компании, как правило, модели процессов специализируются для групп проектов, классифицированных по видам деятельности, которая ведется в проектах, например, разработка, внедрение, поддержка продукта или сопровождение и т. п.

В табл. 1 приведены метрики, которые определены для проектов типа «разработка».

Таблица.1. Определение метрик

#	Метрики	Единицы измерения	Формула	Количество значений в выборке	Количество значений которые не попали в LCL и UCL
1	2	3	4	5	6
1	Возраст дефекта	период	$DA = \sum (B - A) / M$ A – номер фазы проекта, на которой допущен дефект, M – количество дефектов, B – номер фазы проекта, на которой обнаружен дефект, \sum – сумма по всем дефектам	203	4
2	Эффективность устранения дефектов	%	$DRE = (1 - (A / (A + B + C))) * 100\%$ A – дефекты найденные заказчиком, B – дефекты найденные при технической ревизии, C – дефекты найденные при тестировании	214	0

1	2	3	4	5	6
3	Отклонение по качеству	%	$PRQ = 27 * (\{AC\} / \{BC\}) + 41 * (\{AD\} / \{BD\}) + 32 * (\{AS\} / \{BS\})$ <p>{AC}/ {BC} – доля открытых просроченных запросов на изменения (от 0 до 1), {AD}/ {BD} – доля критичных открытых дефектов (от 0 до 1), {AS}/ {BS} – доля не закрытых на плановую дату несоответствий, выявленных в ходе аудитов (от 0 до 1), AC – количество открытых просроченных запросов на изменение , BC – количество всех просроченных запросов на изменения, AD – количество открытых критичных дефектов, BD – количество всех критичных дефектов, AS – количество не закрытых к запланированной дате несоответствий, выявленных в ходе аудитов, BS – общее количество несоответствий, выявленных в ходе аудита</p>	380	18

Для данных метрик были рассчитаны значения верхних и нижних контрольных пределов (см. табл. 2) в трёх временных точках с интервалом в месяц согласно алгоритму (1).

Таблица. 2. Определение контрольных пределов

#	Метрики	2007-май-31				2007-июль-12				2007-август-02			
		Xm	σ	LCL	UCL	Xm	σ	LCL	UCL	Xm	σ	LCL	UCL
1	Возраст дефекта	1.04	0.68	0.7	1.38	1.02	0.59	0.72	1.32	0.98	0.5	0.73	1.23
2	Эффективность устранения дефектов	83.73	15.65	52.42	100	81.73	16.26	49.21	100	80.44	16.82	46.8	100
3	Отклонение по качеству	11.04	11.66	5.21	16.88	11.56	12.18	5.47	17.64	12.22	12.93	5.76	18.68

В результате анализа данных и трендов в табл. 1 и 2, полученных на основе применения метода контрольных пределов, были сделаны такие выводы:

- эффективность устранения дефектов в течение данных 3-х месяцев имеет отрицательную динамику на 1,5% каждый месяц. Последствия – увеличение количества рекламаций от заказчиков и проблем во взаимоотношениях;

- отклонение по качеству имеет также негативную тенденцию по компании в целом, а именно, произошло увеличение отклонения с 11% до 17%. Основная причина – не закрывающиеся несоответствия, нарушение требований по выполнению процессов.

Было определено три направления действий по усовершенствованию процесса после того, как его рабочие характеристики и атрибуты были измерены и проанализированы:

- устранение особых причин (assignable causes) путём осуществления корректирующих действий с целью достижения стабильности и прогнозируемости процесса;

- внедрение изменения в процессе с целью улучшения его показателей;

- налаживание процедуры постоянного усовершенствования процесса, то есть искать пути постоянного усовершенствования процесса таким образом, чтобы повышать его стабильность и прогнозируемость, улучшать качество продукта и уменьшать его себестоимость.

Так осуществляется управление производственным процессом, основанное на контроле и статистическом анализе вариаций параметров проектных процессов.

Пример построения Модели Показателей Процесса

Рассмотрим на примере применения Модели Показателей Процесса (МПП), как можно определить, какой из процессов влияет на величину непроизводительных трудозатрат в проекте. Была выдвинута гипотеза о том, что трудозатраты на переработку кода продукта требуются для:

- исправления найденных при тестировании дефектов;
- реализации измененных требований;
- исправления реализации программного продукта из-за дефекта в требованиях, который был найден только в ходе тестирования или приемки.

Очевидно, что трудозатраты на исправления дефектов или реализацию изменений зависит от их количества. Поэтому зависимость построили в виде:

$$CRS = f(DD; DD_{Req}; RV), \quad (2)$$

где CSR – трудозатраты на переработку кода продукта;

DD – плотность дефектов, найденных в коде при тестировании;

DD_{Req} – плотность дефектов в требованиях к продукту, найденных в ходе тестирования;

RV – изменчивость требований (отношение количества измененных требований к общему количеству требований). Причём, учитывались только те изменения, которые вносились после утверждения требований к продукту.

Для построения такой зависимости использовался пакет программ обработки статистических данных Minitab, рекомендованный SEI (Software Engineering Institute) для построения МПП [7]. Исходными данными послужили данные по завершённым релизам проекта, которые выпускались в течение 2007 – 2008 гг.

За этот период было выпущено 8 релизов. Результаты были проанализированы с помощью Minitab (см. рис.2).

↓	C1-T	C2	C3	C4	C5
	Name	CSR	DD	DD_Req F/R in Rel	RV
1	Release 11.0	1.30	3.51	0.00	0.35
2	Release 11.1	1.43	6.30	0.13	0.25
3	Release 11.2	1.36	4.13	0.24	0.20
4	Release 12.0	1.44	6.24	0.35	0.15
5	Release 12.1	1.35	5.69	0.12	0.25
6	Release 14.0	1.18	7.27	0.00	0.15
7	Release 15.0	1.06	8.09	0.18	0.00
8	Release 15.1	1.09	9.52	0.00	0.10

Рис. 2. Данные релизов, которые были использованы в Minitab

Для построения модели зависимости (рис. 3 и 4) использовались статистические методы анализа [8]. Регрессионный анализ [8] подтвердил выдвинутую гипотезу о связи выбранных показателей. Зависимость между ними имеет следующий вид:

$$CRS = 0.584 + 0.0377DD + 1.05DD_{Req} + 1.76RV . \quad (3)$$

Далее проведен анализ влияния входящих параметров на величину дополнительных CSR. Этот анализ необходим для определения области процесса, которая нуждается в улучшении. В результате выявлено, что наибольшее влияние на величину CSR оказывает изменчивость требований (Requirements Volatility – RV).

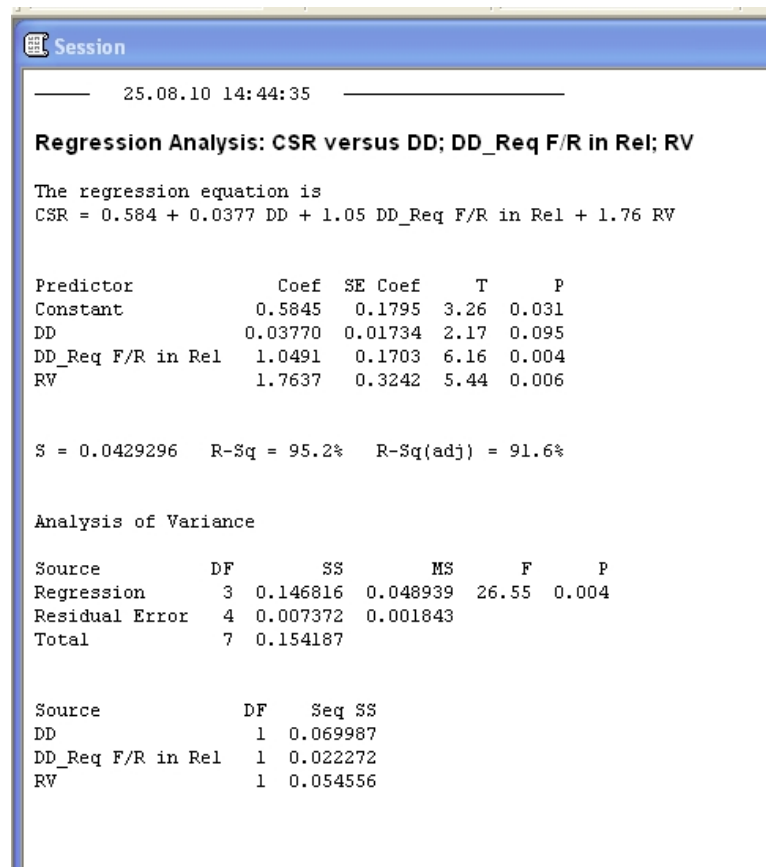


Рис. 3. Данные регрессионного анализа

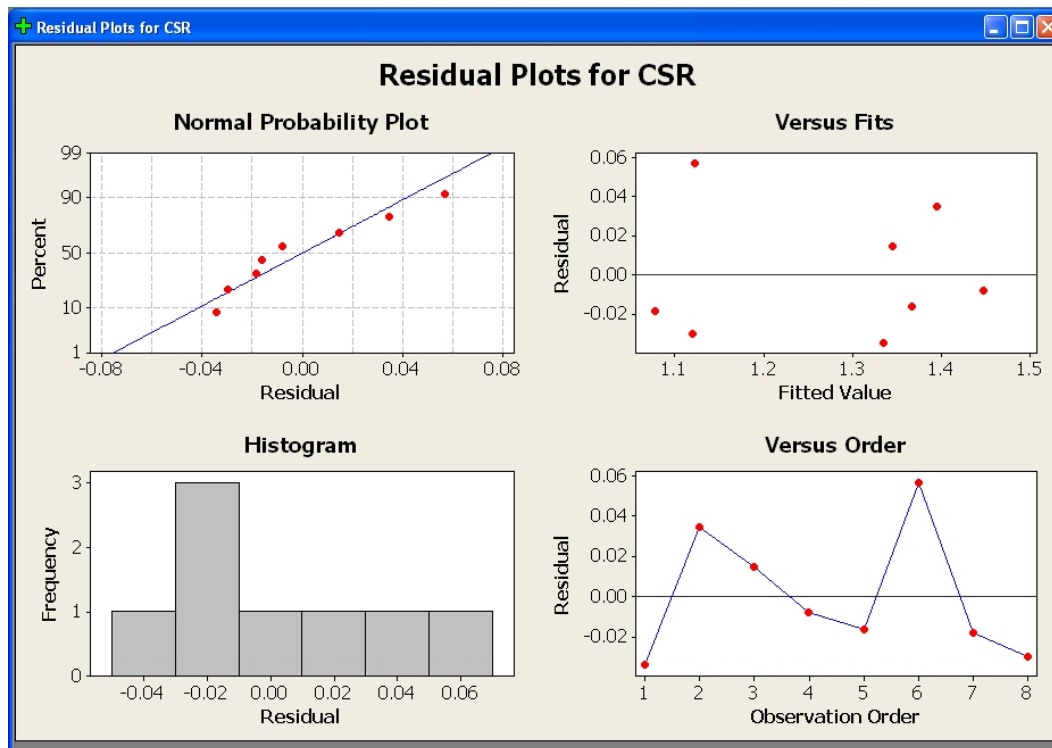


Рис. 4. Данные статистического анализа

Вторым по степени влияния оказался параметр DD_{Req} , т. е. плотность дефектов требований, выявленных на стадии тестирования. Коэффициент при параметре DD_{Req} в 3 раза выше, чем при DD . Следовательно, на величину непроизводительных трудозатрат дефекты в требованиях влияют в значительно большей степени, чем дефекты в коде.

Этот вывод подтверждает также тот факт, что исправление дефектов, обнаруженных на поздних стадиях разработки, обходится гораздо дороже, чем исправление дефектов требований, выявленных на стадии их анализа и проработки. Следовательно, процесс разработки требований следует настроить таким образом, чтобы обеспечить наиболее эффективные способы выявления дефектов. Такими процессными инновациями являются:

- ревизия требований инженерами-разработчиками, аналитиками требований и тестовыми инженерами;
- составление тестовых сценариев по требованиям с описанием ожидаемого результата;
- прототипирование требований.

Если обратиться к рекомендациям SEI [7], которые были неоднократно подтверждены практикой, процесс разработки требований следует построить итеративно, т. е. первоначальный набор требований следует разбить на несколько частей, которые затем будут реализовываться в отдельных итерациях. В начале каждой итерации следует проводить ревизию и уточнение требований до начала фаз проектирования кода и кодирования.

Заключение

Определяющим фактором качества программного продукта для средних и больших проектов является качество производственного процесса. Управление зрелым производственным процессом в ИТ-проектах основывается на контроле и статистическом анализе вариаций параметров проектных процессов. В рамках такого управления могут применяться численные модели процессов, которые позволяют прогнозировать развитие проекта, корректировать и совершенствовать процессы непосредственно в ходе проекта. При этом акцент в инженерии качества процессов ставится не на формальном использовании модели, а на понимании характеристик и особенностей процессов. Данный подход опирается более на приемлемость для практики, чем на модельную строгость.

В работе приведены примеры практического применения статистического подхода в управлении ИТ-проектами, которое включает контроль, анализ и прогнозирование состояния проектных процессов. А именно, представлены примеры применения методов, основанных на расчёте значений контрольных пределов и на построении Модели Показателей Процесса.

1. *CMMI Product Team*, CMMI for Development, version 1.3 // SEI Technical Report CMU/SEI-2010-TR-033 (November 2010).
2. *Матвеева Л. Е.* Инженерия качества процессов производства программных систем с помощью сетей Петри // Проблемы Программування. – 2010. – № 2-3. – С. 277–283.
3. *Florac W., Park R., Carleton A.* Practical Software Measurement: Measuring for Process Management and Improvement // Guidebook, CMU/SEI-97-HB-003. – 1997. – http://www.sei.cmu.edu/pub/documents/97_reports/pdf/97hb003.pdf
4. *Shewhart W.* Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control // N.Y.: Dover Publ., Inc., 1939 (reprint 1986). – 163 p.
5. *Матвеева Л. Е., Волков В. А.* Процес розробки програмного забезпечення. Від теорії до практики. – К., 2008.
6. *Андон Ф.И., Коваль Г.И., Коротун Т.М., Лаврищева Е.М., Сулов В.Ю.* Основы инженерии качества программных систем. Второе издание. НАН Украины Институт программных систем. – К.: «Академперіодика», 2007.
7. *Stoddard R. W., Goldenson D.* Approaches to Process Performance Modeling: A Summary from the SEI Series of Workshops on CMMI High Maturity Measurement and Analysis // SEI Technical Report CMU/SEI-2009-TR-021 (January 2010).
8. *Дрейнер Н., Смут Г.* Прикладной регрессионный анализ. Множественная регрессия. 3-е изд. – М.: «Диалектика», 2007.