

В настоящий момент рынок услуг с применением IT быстро развивается. При этом значительная часть услуг начинает предоставляться удаленно. Как правило, организация сервисных компаний и подразделений описывается при помощи процессного подхода. Компании, занимающиеся предоставлением каких-либо услуг, часто сталкиваются с проблемой формализации и необходимостью реинжиниринга существующих процессов с целью повышения собственной эффективности, снижения издержек для развития собственных конкурентных преимуществ. В настоящем исследовании рассматривается новый практический подход к исследованию и оптимизации процессов по разработке ПО на примере поиска возможностей уменьшения стоимости работ по договорам на разработку ПО. Договорные работы по проектированию, разработке и внедрению систем программного обеспечения (СПО) выполняются специализированным подразделением предприятия. Условия выполнения работ устанавливаются по согласованию заказчика и исполнителя. В работах принимают участие следующие категории исполнителей: · руководитель проекта контролирует всех работников, занятых в рамках договора, и отвечает за выполнение работ в срок; · руководители функциональных групп координируют работы каждой группы соответственно; · отдел маркетинга и продаж участвует в проекте на этапе переговоров и подписания договора; · экономический отдел участвует в проекте на этапе формирования и распределения бюджета проекта; · руководители групп координируют соответственно работы аналитиков, разработчиков и архитекторов; · аналитики, выполняют работы по сбору и документированию требований заказчиков, постановке задач и оформлению технических заданий на проекты; · архитекторы, разрабатывают высокоуровневый дизайн СПО и выбирают методы решения поставленных задач; · разработчики, разрабатывают программные модули (подсистемы), составляют методики тестирования, внедряют и сопровождают СПО. Для моделирования и оптимизации процессов проектирования, разработки и внедрения СПО предлагается технология, состоящая из следующих этапов: 1. Выбор совокупностей результативных показателей эффективности процессов и влияющих на них оптимизируемых и объективных факторов; 2. Математическая постановка задач; 3. Построение IDEF-диаграмм процессов в системе BPwin и их качественный анализ; 4. Переход от диаграммы IDEF3 в систему Arena и отладка в ней имитационной модели процессов; 5. Разработка и отладка имитационной модели в системе GPSS W; 6. Составление стратегического плана проведения имитационных экспериментов; 7. Определение требуемого количества реализаций состояния модели для получения результатов с заданной достоверностью (тактическое планирование); 8. Моделирование процессов по стратегическому плану; 9. Вычисление коэффициентов линейной корреляции и отбор существенно влияющих факторов в математическую модель; 10. Построение математической модели, состоящей

из совокупности уравнений регрессии, связывающих результативные показатели эффективности процессов с влияющими на них факторами; 11. Оценка степени влияния факторов на результативные показатели эффективности моделируемого процесса; 12. Оптимизация процессов; 13. Вывод формул для вычисления оптимальных значений количества аналитиков, разработчиков и архитекторов; 14. Генерация управляющих решений по построению эффективных процессов проектирования, разработки и внедрения для конкретных примеров СПО. Далее последовательно рассмотрим все выделенные этапы.

1. Для исследования процессов отобраны 8 результативных показателей эффективности и 7 влияющих на них факторов. Первые три фактора, которые мы можем менять для обеспечения требуемых значений откликов, будем называть оптимизируемыми факторами. Остальные факторы мы не имеем возможности менять, их будем называть объективными факторами. Отобранные для исследования факторы и отклики представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результативные показатели и факторы, отобранные для исследования

№	Код	Наименование
1	y1	Стоимость работ за время выполнения договора в рублях
2	y2	Среднее время выполнения работ по договору в часах
3	y3	Среднее отклонение времени выполнения работ по договору в часах
4	y4	Вероятность выполнения работ в установленные договором сроки
5	y5	Среднее время просрочки работ по договору в часах
6	y6	Коэффициент утилизации аналитиков
7	y7	Коэффициент утилизации разработчиков
8	y8	Коэффициент утилизации архитекторов
9	x1	Количество аналитиков
10	x2	Количество разработчиков
11	x3	Количество архитекторов
12	x4	Сложность выполнения работ (количество подсистем)
13	x5	Средняя заработная плата за один час работы в рублях
14	x6	Планируемое время выполнения работ по договору в часах
15	x7	Штраф за каждый просроченный час выполнения договорных работ в рублях

Принято, что все временные распределения являются экспоненциальными.

2. Требуется построить математическую модель процесса в виде совокупности уравнений регрессии:

(1) По математической модели (1) производится постановка оптимизационной задачи:

$$a_j \leq y_j \leq b_j$$

где a_j, b_j – левая и правая границы допустимых значений j – го результативного показателя эффективности; c_i, d_i – левая и правая границы допустимых значений i – го фактора; N – количество промоделированных вариантов реализации процессов. По результатам оптимизации (2) выводятся расчётные формулы для вычисления оптимальных значений факторов: x_1, x_2 и x_3 : $x_i = f_i(x_4, x_5, x_6, x_7)$;

(3) 3. Структурные модели процессов проектирования, разработки и внедрения СПО разработаны в системе BPWin в виде диаграмм IDEF0 (рис. 1) и IDEF3 (рис. 2).

Рис. 1 - Модель IDEF0 процессов проектирования, разработки и внедрения СПО

В диаграмме IDEF0 указываются информационные и материальные связи. IDEF0 отображает структуру и функции процессов и потоки используемой и генерируемой информации [1]. На диаграмме A-0, которая представлена на рисунке 1,

содержится наиболее общее описание объекта моделирования. Диаграмма A-0 описывает, как и с помощью каких средств производятся работы по проектированию, разработке и внедрению СПО. Более подробно эти процессы представляются диаграммой IDEF3. Структурная модель IDEF3 позволяет представить сценарий информационного процесса (информационной технологии) в виде параллельно и последовательно выполняемых действий с одновременным описанием объектов, имеющих к процессу непосредственное отношение. Ещё одним несомненным достоинством структурной модели IDEF3 является возможность непосредственного перехода от неё в систему имитационного моделирования, для этого требуется только дополнительно ввести некоторые количественные характеристики процессов с помощью предусмотренной совокупности меню. Рис. 2 - Структурная модель IDEF3 процессов проектирования, разработки и внедрения СПО 4. С помощью встроенной в Arena процедуры была проведена генерация имитационной модели на основе разработанной структурной модели IDEF3 (рис. 2). В системе Arena проведено имитационное моделирование одного варианта реализации процессов со средними значениями факторов и зарегистрированы значения результативных показателей эффективности процессов. 5. Параллельно с системой Arena имитационная модель была разработана и отлажена на языке GPSS W, имеющим больше возможностей по представлению моделируемых процессов по сравнению с системой Arena, но проигрывающий ей в трудоёмкости разработки моделей. 6. В качестве стратегического принят план, состоящий из 23 вариантов. В первом варианте – центральной точкой взяты средние значения всех факторов. Ещё 8 вариантов в геометрической интерпретации представляют собой вершины куба для трёх основных оптимизируемых факторов. Четыре дополнительных факторов меняются по законам изменения произведений основных факторов, т.е. реализуется план дробного факторного эксперимента. Для обеспечения отображения возможных нелинейностей в зависимостях результативных показателей эффективности от влияющих на них факторов вводятся 14 «звёздных» точек [2]. 7. Количество реализаций состояний модели вычислено по формуле, полученной на основании неравенства Чебышева: (4) где σ^* – оценка среднего квадратического отклонения; ε – половина ширины доверительного интервала, берётся равной $0,1 \cdot m1^*$; $m1^*$ – оценка математического ожидания; β – доверительная вероятность, берётся равной 0,90. 8. Моделирование процессов проведено в двух системах по 23 вариантам. Согласно полученным данным различие в результатах моделирования в двух системах сравнительно невелико и не превышает 10%, его наличие можно объяснить отличием используемых генераторов случайных чисел в Arena и GPSS W. Можно ожидать, что это различие будет уменьшаться при увеличении количества реализаций состояния моделей. 9. Вычисленные значения коэффициентов линейной корреляции позволили установить, что большинство

зависимостей результативных показателей от влияющих на них факторов являются существенными, но в то же время они не являются линейными. Кроме того, существенное влияние на результативные показатели оказывают и некоторые произведения факторов между собой. Поэтому принято решение в качестве уравнений регрессии использовать нелинейные зависимости второй степени с включением в них произведений факторов между собой. 10.

Постановка задачи построения уравнений регрессии требует, чтобы сумма квадратов отклонений экспериментальных значений от вычисленных по аппроксимирующей зависимости была минимальной. Кроме того, требуется, чтобы отношение стандартной ошибки к среднему значению не превышало 0,1; уровень значимости по коэффициенту множественной детерминации, критерию Фишера для уравнения регрессии и уровни значимости по критерию Стьюдента для коэффициентов уравнения регрессии не превышал 0,05. Совокупность 8 полученных уравнений регрессии представляет собой математическую модель процессов. Для примера представим нелинейные уравнения регрессии, связывающие результативные показатели эффективности: y_1 – стоимость работ и y_2 – среднее время выполнения работ с влияющими на них факторами.

$$y_1 = 20079094,22 - 147694,281 \cdot x_1 - 594944,679 \cdot x_2 - 14475,045 \cdot x_6 + 158157,632 \cdot x_{32} + 1427,528 \cdot x_{42} + 0,559 \cdot x_{52} + 3,582 \cdot x_{62} + 0,235 \cdot x_{72};$$
$$(5) \quad y_2 = -453,6 - 40,5626 \cdot x_1 - 294,8992 \cdot x_2 - 215,5050 \cdot x_3 + 8,1071 \cdot x_4 + 2,1701 \cdot x_5 + 1,1663 \cdot x_6 + 0,3697 \cdot x_7 + 0,7567 \cdot x_{21} + 14,2960 \cdot x_{22} + 25,3811 \cdot x_{23} + 0,2291 \cdot x_{24} - 0,0007 \cdot x_{25} - 0,0004 \cdot x_{26} - 0,0001 \cdot x_{27}.$$

Для полученных уравнения регрессии были определены показатели качества. Все они находятся в допустимых интервалах. 11. Оценка степени влияния факторов на результативные показатели эффективности процессов проектирования, разработки и внедрения СПО проведена по удельным весам и коэффициентам эластичности факторов. Для примера представим результаты оценки степени влияния факторов на стоимость работ - y_1 по их удельным весам (рис. 3) и коэффициентам эластичности (рис. 4). Рис. 3 - Круговая диаграмма удельных весов факторов, влияющих на изменение y_1 Рис. 4 - Гистограмма коэффициентов эластичности факторов влияющих на изменение y_1 По полученным диаграммам, представленным на рис. 3 и рис. 4 можно сделать следующие выводы:

- наиболее существенное положительное влияние на увеличение стоимости работ оказывает сложность выполнения работ (x_4), т.е. чем проще работы, тем они дешевле;
- количество аналитиков (x_1) и количество разработчиков (x_2) следует увеличить;
- количество архитекторов (x_3) следует уменьшить;

сформулированные предложения позволяют сократить стоимость выполняемых работ. Отметим, что рекомендации, выданные на основании диаграмм, представленных на рис. 3 и 4 носят качественный характер. Количественные рекомендации можно выдать на основе результатов оптимизации процессов. 12. По математической модели в соответствии с математической постановкой (2) проведем оптимизацию как задачу нахождения минимального значения - y_1 , за

счет выбора оптимальных значений оптимизируемых факторов x_1 , x_2 и x_3 при ограничениях на другие показатели эффективности и факторы для каждого из 23 вариантов модели. 13. По результатам оптимизации получено 3 уравнения регрессии для вычисления оптимальных значений количества аналитиков, разработчиков и архитекторов в зависимости от объективных факторов, характеризующих конкретную СПО. $x_{1opt} = -3,16662 + 0,35472 \cdot x_4 + 0,00022 \cdot x_5 + 0,00276 \cdot x_6 - 0,00248 \cdot x_7 + 0,43572 \cdot x_{42} + 0,00053 \cdot x_{52} + 0,00000063 \cdot x_{62} - 0,00000081 \cdot x_{72}$; $x_{2opt} = 2,640308 + 0,131235 \cdot x_4 + 0,000347 \cdot x_5 + 0,001650 \cdot x_6 - 0,001350 \cdot x_7 + 0,001210 \cdot x_{42} + 0,00000035 \cdot x_{52} + 0,000002 \cdot x_{62} - 0,00000028 \cdot x_{72}$; $x_{3opt} = 3,514593 + 0,049782 \cdot x_4 - 0,000340 \cdot x_5 + 0,000043 \cdot x_6 - 0,000733 \cdot x_7 + 0,001245 \cdot x_{42} + 0,00000016 \cdot x_{52} - 0,00000015 \cdot x_{62} - 0,00000055 \cdot x_{72}$. 14. Решение контрольного примера. Пусть заключен договор на проектирование, разработку и внедрение СПО со следующими параметрами: $x_4 = 60$ подпрограмм; $x_5 = 1300$ рублей; $x_6 = 2000$ часов; $x_7 = 1500$ рублей. По формулам (6) и (5) вычислены: $x_{1opt} = -3,16662 + 0,35472 \cdot 60 + 0,00022 \cdot 1300 + 0,00276 \cdot 2000 - 0,00248 \cdot 1500 + 0,43572 \cdot 602 + 0,00053 \cdot 13002 + 0,00000063 \cdot 20002 - 0,00000081 \cdot 15002 = 20$ человек; $x_{2opt} = 2,640308 + 0,131235 \cdot 60 + 0,000347 \cdot 1300 + 0,001650 \cdot 2000 - 0,001350 \cdot 1500 + 0,001210 \cdot 602 + 0,00000035 \cdot 13002 + 0,000002 \cdot 20002 - 0,00000028 \cdot 15002 = 12$ человек; $x_{3opt} = 3,514593 + 0,049782 \cdot 60 - 0,000340 \cdot 1300 + 0,000043 \cdot 2000 - 0,000733 \cdot 1500 + 0,001245 \cdot 602 + 0,00000016 \cdot 13002 - 0,00000015 \cdot 20002 - 0,00000055 \cdot 15002 = 5$ человек. $y_{1opt} = 20079094,219 - 147694,281 \cdot 20 - 594944,679 \cdot 12 - 14475,045 \cdot 2000 + 158157,632 \cdot 52 + 1427,528 \cdot 602 + 0,559 \cdot 13002 + 3,582 \cdot 20002 + 0,235 \cdot 15002 = 5930284$ рубля. $y_{2opt} = -453,6011 - 40,5626 \cdot 20 - 294,8992 \cdot 12 - 215,5050 \cdot 5 + 8,1071 \cdot 60 + 2,1701 \cdot 1300 + 1,1663 \cdot 2000 + 0,3697 \cdot 1500 + 0,7567 \cdot 202 + 14,2960 \cdot 122 + 25,3811 \cdot 52 + 0,2291 \cdot 602 - 0,0007 \cdot 13002 - 0,0004 \cdot 20002 - 0,0001 \cdot 15002 = 1126$ часов. Вычисленные оптимальные значения факторов и результативных показателей эффективности приведены в таблице 2.

Код	Наименование	Значение	Ед. изм.
x_1	Количество аналитиков	20	Человек
x_2	Количество разработчиков	12	Человек
x_3	Количество архитекторов	5	Человек
y_1	Стоимость работ за время выполнения договора	5930284	Рубли
y_2	Среднее время выполнения работ по договору	1126,129	Часы
y_3	Стандартное отклонение времени выполнения работ	695,6799	Часы
y_4	Вероятность выполнения работ в установленные сроки	0,95	-
y_5	Среднее время задержки по срокам по договору	133,5228	Часы
y_6	Коэффициент утилизации аналитиков	0,78	-
y_7	Коэффициент утилизации разработчиков	0,82	-
y_8	Коэффициент утилизации архитекторов	0,87	-

- В данной статье представлена методика исследования и оптимизации процессов разработки ПО. В работе достигнуто следующее: 1. Осуществлен выбор 8 результативных показателей эффективности процессов, 3 оптимизируемых и 4 объективных факторов, влияющих на них; 2. Произведена математическая постановка оптимизационной задачи; 3. Были построены IDEF0

и IDEF3 диаграммы процесса разработки ПО в системе BPwin и их качественный анализ; 4. На основе разработанной логической модели в IDEF3 были созданы имитационные модели процессов в Arena и GPSS W; 5. Спланирована и проведена серия из 23 опытов с использованием разработанных имитационных моделей в Arena и GPSS W; 6. Построена математическая модель процесса разработки ПО, состоящая из 8 уравнений регрессии; 7. В результате оценки степени влияния факторов на стоимость выполнения работ (y_1), проведенной по удельным весам и коэффициентам эластичности факторов, было определено, что для уменьшения y_1 необходимо постараться уменьшить сложность выполнения работ (x_4), увеличить количество аналитиков (x_1) и количество разработчиков (x_2), а также уменьшить количество архитекторов (x_3); 8. По результатам оптимизации получено 3 уравнения регрессии для вычисления оптимальных значений количества аналитиков (x_1), разработчиков (x_2) и архитекторов (x_3) в зависимости от объективных факторов, характеризующих конкретную СПО. Новизной представленной работы является разработка имитационной модели процесса разработки ПО, а также построение математической модели процесса, представляющей собой совокупность из 8 уравнений регрессии, и, позволяющую провести оптимизацию, а также выработать обоснованные управленческие решения по оптимизации исследуемого процесса разработки ПО. В заключение отметим, что предложенная методика пригодна для исследования любых бизнес-процессов.