

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

АО «КАЗАХСТАНСКО-БРИТАНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



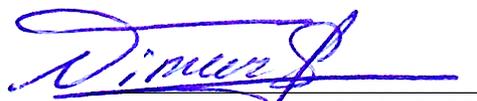
## ПРАКТИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО

по EVM и PRMS прогнозированию

Разработано по результатам выполнения научно-исследовательской работы по теме «Отставание по срокам, перерасход средств и рискованное поведение: методология прогнозирования успешности проекта в условиях неопределенности» финансируемая Министерством образования и науки Республики Казахстана в рамках грантового финансирования научно-исследовательских работ на 2021-2023 годы

Номер гранта: ИРН АР09259049  
Договор: №177/36-21-23 от 15.04.2021 года

Руководитель НИР  
PhD, профессор



подпись, 28.10.2022

Нарбаев Т.С.

Алматы 2022

### **Состав команды разработчиков:**

(PhD – 3; докторантов – 1; MS – 1; магистрантов – 2)

1. Тимур Нарбаев (Роль в проекте - руководитель проекта, главный научный сотрудник)
2. Ончи Хазир (Роль в проекте – ведущий научный сотрудник)
3. Кристиан Капоне (Роль в проекте – научный сотрудник)
4. Ержан Мукашев (Роль в проекте – научный сотрудник)
5. Балжан Хамитова (Роль в проекте – младший научный сотрудник)
6. Андрей Самойлов (Роль в проекте – младший научный сотрудник)
7. Саяжан Талғат (Роль в проекте – младший научный сотрудник)

## СОДЕРЖАНИЕ

1. КРАТКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ EARNED VALUE MANAGEMENT (EVM) И PROJECT RISK MANAGEMENT STRATEGY (PRMS) .....	4
2. АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ EVM И PRMS В КАЗАХСТАНЕ .....	5
3. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ И ПОКАЗАТЕЛИ EVM.....	6
4. ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ESTIMATED DURATION AT COMPLETION (EDAC).....	8
5. ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ESTIMATED COST AT COMPLETION (ECAC).....	10
6. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	15
ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ .....	16
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	17

## 1. КРАТКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ EARNED VALUE MANAGEMENT (EVM) И PROJECT RISK MANAGEMENT STRATEGY (PRMS)

В Казахстане большинство инфраструктурных и инвестиционных проектов реализуются с отставанием по срокам и перерасходом средств; часто вызванные непредвиденными рисками и неопределенностью окружающей средой. Следовательно, проектно-интенсивным отраслям необходима предлагаемая аналитическая методология для прогнозирования продолжительности и стоимости проектов в реальном времени. Это поможет избежать вышеуказанных проблем или лучше понять риски. Это важно в свете реализации Инициатив 2.13, 3.27 и 5.10 Стратегического плана развития Республики Казахстан до 2025 года, которые направлены на реализацию проектов в высокотехнологичных отраслях, улучшение транспортной и логистической инфраструктуры и строительство умных городов для обеспечения устойчивой урбанизации.

Вопросы внедрение методологии для прогнозирования продолжительности и стоимости проектов с учетом рисков являются относительно новыми. Литературный обзор, проведенный в прошлом 2021 году (согласно Календарному плану за 2021 год) показал наличие нескольких публикаций по данной тематике, например, в [1], используя эмпирические данные по крупномасштабным проектам, они проанализировали внутренние и внешние риски, которые влияют на финансовую структуру таких проектов. В [2], применяя нелинейное регрессионное моделирование, авторы предложили математическую модель для прогнозирования конечной стоимости проекта. В [3], член группы разработал концептуальную модель, основанную на EVM, которая учитывает влияние эффективности выполнения работ на стоимость строительных проектов. В аналитической работе [4], авторы изучили различные риски, которые влияют на срок выполнения проекта, и разработали критические показатели, которые помогают избежать возможных задержек в проектах. В своей влиятельной обзорной статье [5], автор проанализировал литературу по мониторингу и контролю проектов, включая методы и инструменты EVM, и предложил классификацию текущей литературы в данной области.

По итогам исследования состояния EVM и PRMS, в данной работе можно сделать следующие выводы:

- EVM является наиболее востребованной и признанной во всем мире [6, 7];
- В рамках эффективной системы мониторинга и контроля проекта, расчет оценки времени при завершении (Estimated duration at completion - EDAC) и оценки стоимости при завершении (Estimated cost at completion ECAC) имеет решающее значение для успешности PM;
- Расчет EDAC и ECAC является перспективной задачей и помогает менеджерам проектов принимать своевременные и надлежащие решения относительно конечной продолжительности и стоимости проектов [2, 8].
- Используя показатели и формулы EVM, анализируются отклонения по графику и бюджету проекта и прогнозируются EDAC и ECAC [2, 9];

## 2. АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ EVM И PRMS В КАЗАХСТАНЕ

На основании полученных результатов выполненных работ в прошлом 2021 году согласно Календарному плану на 2021 год [2], было отмечено, что универсальной модели по EVM и PRMS прогнозированию не существует. Проведенный анализ также показал, что была проведена оценка успешности проекта по EVM и PRMS по отдельности, в которой прогноз делался в организациях без учета рисков и модели, основанные на математических принципах, для EDAC и ECAC не разрабатывались.

Существует исследования в областях смежных с PM. Например, [10, 11] разработали модель прогнозирования успеха PM для государственных программ, но она не была проверена, ограничившись только практическими рекомендациями. На основе данных 681 проектов, [12] исследовали факторы успеха, необходимые для руководителя проекта. Было выявлено, что руководители проектов из Казахстана показали наихудший результат по перерасходу средств (25,96%) и низкий результат по задержке сроков (32,90%). Тулембаев А. и др. [13] изучали проблемы PM, существующие в организациях Казахстана. На основе результатов интервью и опроса, они определили, что основными проблемами, наносящими ущерб PM, являются вопросы планирования, коммуникации, управления интеграцией, и отсутствие программных обеспечений PM и тренингов.

Это позволяет сделать вывод, что команды PM нуждаются в методологии прогнозирования продолжительности и стоимости, которая математически учитывает риски и внешнюю среду. Для этого необходимо разработать такую модель, которая объединяет влияние проактивного, нейтрального или реактивного поведения PRMS (через потребление резервов Duration contingency/ Cost contingency (DC/CC)) в существующие модели EDAC и ECAC. Такая модель и подробная методология исследования будет представлена в данном руководстве.

### 3. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ И ПОКАЗАТЕЛИ EVM

Методика освоенного объема (EVM) – это систематический процесс, который используется для поиска отклонений по проекту на основе сравнения выполненных работ и запланированных работ. Руководители проектов используют этот метод для управления стоимостью и графиком и применяют его для прогнозирования проекта. [14].

EVM служит двум основным целям. Во-первых, он сообщает менеджеру проекта, где находится проект, путем привязки завершения работы, понесенных затрат и затраченного времени. Во-вторых, он предоставляет арифметические данные для прогнозирования параметров затрат и времени по завершении. Возможно, все, что предлагает способность предсказывать будущие результаты, должно быть высоко оценено [15]. Более поздние исследования показали, что принципы EVM являются положительными предикторами успеха проекта [16].

Далее описываются основные концепции EVM, каждая из которых играет ключевую роль в повышении эффективности проекта.

*Плановый объем (PV)* - утвержденный бюджет работ, который планируется завершить к определенной дате. Плановое значение - это Бюджетная стоимость запланированных работ (BCWS).

$PV = \text{Общая стоимость проекта} \times \% \text{ от запланированных работ}$

Например, допустим, PV для 5-месячного проекта составляет 25000 долларов:

$PV \text{ для всего проекта} = 25000 \text{ долларов США}$

$PV \text{ за 2 месяца} = 25\,000 \text{ долларов США} \times 40\% = 10\,000 \text{ долларов США}$

*Освоенный объем (EV)* - утвержденный бюджет работ, фактически выполненный к определенной дате. Вы составили план по завершению некоторого объема работы и заложили соответствующий бюджет. По истечении двух месяцев было планировано завершить 40% работы, но удалось выполнить всего 30%.

Тогда возникает вопрос, какова сметная стоимость этой работы? EV, также называемая бюджетной стоимостью выполненных работ (BCWP), дает ответ:

$EV = \text{Общая стоимость проекта} \times \% \text{ фактических работ} = 25\,000 \text{ долларов США} \times 30\% = 7\,500 \text{ долларов США}$

*Фактические затраты (AC)* фактически понесенные затраты за работу, выполненную к установленному сроку. Фактические затраты, также называется фактической стоимостью выполненных работ (ACWP).

Значения планового объема, фактических затрат и освоенного объема имеют основополагающее значение для расчетов отклонений. На этом этапе можно узнать насколько проект далек от базовой линии проекта. Это можно определить с помощью графика и отклонения стоимости.

Для описания графика и эффективности затрат с помощью EVM используются следующие индикаторы, представленные в таблице 1:

Таблица 1 - индикаторы EVM

Индикаторы	Определения	Формулы	Пример
Отклонение от графика (SV)	разница между суммами, заложенными в бюджет за проделанную работу и за работу, которую планировали сделать. Этот индикатор показывает, насколько работа опережает или отстает от установленного графика.	$SV = EV - PV$ $SV\% = (SV/PV) * 100$	<p>SV в 2 месяца = 7500–10000 долл. = -2500 долл.</p> <p>SV% = - (\$2,500/\$10,000) *100 = -25%</p> <p>Это означает, отставание от графика на 25%.</p>
Разница в стоимости (CV)	разница между заложенной в бюджет суммой и суммой, фактически потраченной на работу. Оно показывает, насколько меньше или превышает утвержденный бюджет.	$CV = EV - AC$ $CV\% = (CV/EV) * 100$	<p>CV за 2 месяца = 7500 долларов - 15000 долларов = -7500 долл.</p> <p>CV% = (- \$7,500/\$7,500) *100 = -100%</p> <p>Это означает, превышение бюджета на 100%</p>
Индекс выполнения срока (SPI)	отношение утвержденного бюджета на выполненные работы к утвержденному бюджету на запланированные работы.	$SPI = EV / PV$ $SPI = EV / PV$ SPI > 1 проект опережает график SPI < 1 проект отстает от графика.	<p>SPI = 7500 долларов США / 10 000 долларов США = 0,75 означает, что проект идет только на 75% в соответствии с первоначальным планом или на 25% отстает от графика.</p>
Индекс выполнения стоимости (CPI)	это отношение утвержденного бюджета на выполненную работу к тому, что вы фактически потратили на эту работу.	$CPI = EV / AC$ $CPI = EV / AC$ CPI > 1 проект находится в рамках бюджета CPI < 1 проект превышает бюджет.	<p>CPI = 7500 долларов США / 15 000 долларов США = 0,5, означает, что расходы по проекту составляют только 50% от плана.</p>

Формулы освоенного объема широко используются компаниями различных отраслей, образовательными учреждениями и консалтинговыми фирмами.

#### 4. ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ESTIMATED DURATION AT COMPLETION (EDAC)

В рамках эффективной системы мониторинга и контроля проекта, расчет оценки времени при завершении (Estimated duration at completion - EDAC) и оценки стоимости при завершении (Estimated cost at completion - ECAC) имеет решающее значение для успешности РМ.

В инфраструктурных проектах задержки по срокам и перерасход средств возникают вследствие рисков и неопределенной среды (например, изменения цены, риски по закупкам). Такие риски учитываются и предпринимаются соответствующие корректирующие действия [3, 17]. Показатели EDAC должны быть скорректированы для учета прошлых рисков, поскольку для реагирования и устранения таких рисков необходимо дополнительное время. Однако существующие методы EVM не отражают математически влияние прошлых рисков на EDAC [2, 7, 8].

С другой стороны, менеджеры проектов используют резервы по времени (Duration contingency – DC) для управления рисками при реализации проектов. DC – средства, рассчитываемые на этапе планирования, добавляются в план проекта и расходуются для корректировок, связанных с риском, т.е. на управление и реагирование рискам [18].

Типичный процесс управления проектом состоит из мониторинга фактической производительности, сравнения ее с запланированной производительностью, анализа разницы и прогнозирования конечных результатов по завершении в результате действий руководства [19]. При прогнозировании стоимости или срока на основе EVM возникают фундаментальные ограничения. Во-первых, формулы на основе EVM для прогнозирования затрат или графика являются детерминированными и не предоставляют никакой информации о диапазоне возможных результатов и вероятности достижения целей проекта. Во-вторых, у EVM есть некоторые ошибки измерения из-за сложности точного измерения хода выполнения проектов. Такие ошибки измерения делают прогноз ненадежным для руководителей проектов [19]. В связи с этим, были разработаны модели EDAC для прогнозирования предполагаемой продолжительности с использованием DC.

Разработка процедуры валидации модели EDAC состоит из 4 шагов, указанных в Таблице 2.

Таблица 2. Процедура валидации модели EDAC с DC.

Шаги	Действия
1. Расчет ES	$ES = (EV_{now} - PV(now-1)) / (PV_{now} - PV(now-1))$ (6)
Результат	Исходное значение ES
2. Расчет SPI	$SPI(t) = (Earned\ Schedule\ (ES)) / (Actual\ Time\ (AT))$ (7).
Результат	Исходное значение SPI
3. Расчет DC	$DC = PD * k$ , (8)
Результат	Исходное значение DC
4. Расчет EDAC (когда проект находится на всех стадиях (ранний, средний, поздний))	$EDAC(x) = AT(x) + [(PD - ES(x)) / SPI(x)] + DC$ , (9)
Результат	Исходное значение EDAC в трех стадиях

Этапы расчета EDAC были определены согласно предложенной модели. «Поскольку количество временных точек и значения сообщаемых данных EVM различаются от проекта к проекту, процентное значение завершения бюджета на ранних, средних и поздних этапах не может быть заранее определенным процентом.

Как следствие, диапазон для этих стадий был определен как 10-25%, 45-65%, 70-95% соответственно [2]. Полученные результаты на основе выполнения процедур валидации модели EDAC с DC дает определить результаты какого этапа ближе к фактическому сроку EDAC.

Для расчета EDAC, DC добавляется в модель EDAC для прогнозирования окончательной продолжительности с учетом влияния типа PRMS. В результате разработки процедуры валидации модели EDAC была получена ее изменённая форма – EDAC с динамикой потребления DC. Расчет EDAC является перспективной задачей и помогает менеджерам проектов принимать своевременные и надлежащие решения относительно конечной продолжительности проектов. Модель EDAC с динамикой потребления DC может быть использована с резервом по времени (Duration contingency) для управления рисками при реализации проектов. Как показывает результаты данного расчета, полученные результаты EDAC в ранних этапах дает результаты ближе к фактическому сроку.

Пример расчета EDAC по инфраструктурному проекту А (Shokri-Ghasabeh and Akrami 2009) приведен ниже в Таблице 3:

Таблица 3. Пример валидации модели EDAC с DC

Шаги	Действия
1. Расчет ES	$ES=(12070000000-10540000000)/(12750000000-10540000000)+3$ (6)
Результат	Исходное значение ES=3,692
2. Расчет SPI	$SPI(t)=(3,692)/(4)$ (7).
Результат	Исходное значение SPI=0,923
3. Расчет DC	$DC = 15*10\%$ , (8)
Результат	Исходное значение DC=1,5
4. Расчет EDAC (когда проект находится на всех стадиях (ранний, средний, поздний)	$EDAC(x)$ ранний = $4 + [(15-3,692 / 0,923) + 1,5]=17,75$ $EDAC(x)$ средний = $10 + [(15-3,692 / 0,923) + 1,5]=23,75$ $EDAC(x)$ поздний = $14 + [(15-3,692 / 0,923) + 1,5]=27,75$
Результат	Исходное значение EDAC в трех стадиях

В результате выполнения данного расчета получили исходное значение EDAC в трех стадиях согласно таблице 4:

Таблица 4. Исходное значение EDAC

Проект (источник)	Тип	Продолжительность, мес		EE S	SS PI	kk	EDAC (ранний)	EDAC (средний)	EDAC (поздний этап)
		План	Факт						
А (Shokri-Ghasabeh and Akrami 2009)	Инфраструктура	115	116	33,69	00,923	110	17,75	23,75	27,75

Полученные результаты на основе выполнения процедур валидации модели EDAC с DC показывают что результаты на ранних этапах прогнозирования EDAC (17,75 мес.) ближе к фактическому сроку выполнения EDAC (16 мес.).

## 5. ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ESTIMATED COST AT COMPLETION (ECAC)

Традиционная система EVM использует индекс выполнения стоимости (CPI) и индекс выполнения срока (SPI) и их комбинации для вычисления ECAC [20], известный как традиционный подход на основе индексов, при котором менеджеры проектов полагаются на показатели эффективности для выявления потенциальных отклонений от расписания и базовые планы затрат, а также принять меры по исправлению положения, чтобы вернуть свои проекты в нужное русло. Данный метод основывается на прошлых данных EVM, что является наилучшей доступной информацией, и в то же время является ненадежной на ранних стадиях [3]. Для того, чтобы устранить такие ограничения, была предложена новая методология расчета ECAC, основанная на модифицированной формуле на основе индекса, предсказывающей ожидаемые затраты на оставшуюся работу с моделью роста Гомперца посредством подгонки кривой нелинейной регрессии. На основе модели роста Гомперца была получена оригинальная модель ECAC, приведенная ниже в уравнении 1:

$$CEAC(x) = AC(x) + [GGM(CF(x)) - GGM(x)] * BAC \quad (1)$$

где AC – фактическая стоимость выполненных работ; GGM – функция модели роста Гомперца; CF – коэффициент завершения, который указывает прогнозируемое время завершения, и является обратным значением SPI(t) — коэффициент времени основанный на SPI, представленный Липке [21], и BAC – бюджет по завершении, первоначальная базовая стоимость проекта.

GGM(CF(x)) представляет собой общий BAC, скорректированный с расчетным временем завершения, в то время как GGM(x), основанный на ходе проекта по фактическому времени, представляет собой текущие расходы BAC, оба значения нормированы на единицу. Учитывая это, второе слагаемое в уравнении 1 прогнозирует оставшийся бюджет на проект завершения, часть BAC, которая имеет нелинейную S-образную форму, описанную по GGM. BAC уменьшается со временем по мере приближения проекта к завершению. Функция GGM определяется согласно уравнению 2.

$$GGM(x) = \alpha e^{-e(\beta - \gamma x)} \quad (2)$$

где  $\alpha$  – значение, представляющее асимптотическую конечную стоимость проекта когда время (x) стремится к бесконечности;  $\beta$  – параметр, показывающий начальную величину, то есть точка пересечения с осью y, и управляет положением кривой вдоль оси x;  $\gamma$  – масштабный параметр, управляющий темпом роста затрат для кривой. Все три значения параметра находятся нелинейным регрессионным анализом. Модель имеет точку перегиба в момент времени  $x = \beta/\gamma$ , когда его рост равен  $GGM(x) = \alpha/e$ , а скорость роста затрат достигает своего максимума ( $MaxRate = \alpha\gamma/e$ ). При этом  $x = \beta/\gamma$  моделирует положение кривой GGM, т.е. движение по оси x влево или вправо, а параметр  $\gamma$  масштабирует его форму. Как положение, так и форма кривой модели зависят от вышеперечисленных трех параметров.

Как было выявлено в ходе проведения исследования, не существует метода, который объединяет расчеты СС и ECAC в единую методологию прогнозирования, а доступные методы ECAC не учитывают потребление СС во время выполнения проекта и отношение руководства к риску. В связи с этим, данное практическое руководство предлагает интегрировать в методологии ECAC анализ неопределенности и риска, позволяющий фиксировать события риска в формулировке ECAC. Таким образом,

оригинальная модель ECAC была преобразовано в модель, ориентированную на риск, ECACrisk (x), приведенной ниже в уравнении 3:

$$ECACrisk(x) = AC(x) + [GGM(CF(x)) - GGM(x)] * BAC * (1 + k) = AC(x) + [GGM(CF(x)) - GGM(x)] * BAC + [GGM(CF(x)) - GGM(x)] * BAC * k = AC(x) + \Omega(x) * BAC + \Omega(x) * BAC * k = AC(x) + \Omega(x) * BAC + \Omega(x) * CC \quad (3)$$

где AC - сумма фактической стоимости выполненных работ и фактических затрат CC,  $\Omega(x)$  – часть исходной модели SEAC,  $GGM(CF(x)) - GGM(x)$ , которая нелинейно учитывает оставшуюся часть BAC, представлен в виде нового обозначение, как указано в уравнении 4:

$$\Omega(x) = GGM(CF(x)) - GGM(x) \quad (4)$$

CC традиционно определяется как процент от бюджета проекта, который устанавливается на этапе планирования проекта согласно уравнению 5. CC следует не только должным образом рассчитывать и назначать в процессе оценки бюджета, но также разумно отслеживать, контролировать и использовать во время выполнения проекта [5].

$$CC = BAC * k, \text{ где } k - \text{процент BAC} \quad (5)$$

Разработка процедуры валидации модели ECAC состоит из 4 шагов, которые представлены в Таблице 5.

В работе модель была значительно доработана для учета рисков в проектах. Это было достигнуто за счет внесения в исходную модель двух основных модификаций. Во-первых, предлагаемая модель теперь способна отображать динамику потребления CC при расчете SEAC. Во-вторых, модель теперь называется структурной, которая может принимать три различные формы, которые соответственно представляют три управленческих отношения в реагировании на риск. Это три уровня потребления CC, которые руководитель проекта может потратить на непредвиденные расходы, представленные уравнениями 6, 7 и 8 соответственно.

Поведение кривой непредвиденного потребления зависит от типа непредвиденных расходов (CCR – cost contingency rate), который, в свою очередь, определяется формой коэффициента  $\Omega$ . Согласно этому предложению, базовая модель различает эти три формы CCR как: постоянный CCR, определяемый  $\Omega$ , уменьшающийся CCR, определяемый  $\Omega^2$ , и возрастающий CCR, определяемый  $\sqrt{\Omega}$ , которые представлены в уравнениях выше соответственно..

Модельная форма № 1 (уравнение 6): постоянная CCR. Скорость расходования бюджета на непредвиденные обстоятельства постоянна и равна 1 и линейна по отношению к прогрессу BAC, регулируемому  $\Omega(x)$ , который, в свою очередь, имеет нелинейный рисунок из-за S-образной формы GGM. В такой форме представлены расходы CC пропорциональные ходу выполнения расходов бюджета, а его показатель не меняется и равен 0 по мере выполнения проекта. Подразумевает, что менеджеры проектов склонны тратить свои бюджеты на непредвиденные обстоятельства вместе с тем же поведением S-образной кривой, что и бюджетные затраты проекта.

Модельная форма № 2 (уравнение 7): уменьшение CCR. CCR уменьшается нелинейно по отношению к прогрессу BAC, который представлен 1-й производной переменной  $\Omega^2$  ( $2\Omega$ ). Такая форма подразумевает, что менеджеры проектов, как

правило, тратят большую часть бюджета на непредвиденные расходы с максимальной скоростью на ранних стадиях проекта (и скорость потребления СС уменьшается по мере продвижения проекта). На эту структуру расходов влияет помимо того, как S-образная кривая бюджета проекта влияет на потребление СС.

Таблица 5. Процедура валидации модели ЕСАС с СС.

Шаги	Действия
1. Нужно найти значения параметров GGM	Нормировать все значения временных точек к единице (т. е. PD=1,00). Каждый следующий момент времени (начиная с 0 до PD=1,00) представляет собой накопленную часть этого единства. Значения представляют переменную-предиктор (x). Нормировать все значения AC, начиная с AT, до единицы (т. е. BAC=1,00). Нормировать все значения PV, от AT до PD, к единице (т.е. BAC=1,00). Объединить нормализованные значения AC и PV. Каждое временное приращение представляет собой накопленную часть этого единства. Значения представляют переменную отклика (y). Загрузить нормализованные значения предиктора и отклика в платформу нелинейной регрессии и выбрать функцию GGM (уравнение (4)). Выполните оценку параметра. Найти значения трех параметров ( $\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$ ) GGM.
Результат	Значения трех параметров GGM
2. Расчет CEAC( $\epsilon$ ) <sub>orig</sub>	Найти значения GGM для периодов, когда $x=AT$ (т.е. GGM(x)) и $x=1,00$ (т.е. GGM(1)). Рассчитать исходное значение CEAC( $\epsilon$ ), вставив два вышеуказанных значения GGM в (уравнение (1)).
Результат	Исходное значение EAC( $\epsilon$ ) <sub>orig</sub>
3. Интеграция CF в CEAC( $\epsilon$ ) <sub>orig</sub>	Преобразовать исходную модель CEAC( $\epsilon$ ) (уравнение (1)) путем замены $x=1,00=PD$ значением CF. Измененная исходная модель CEAC( $\epsilon$ ) учитывает возможное влияние выполнения графика.
Результат	Исходное значение CEAC( $\epsilon$ ) <sub>orig</sub> value, учитывающее возможное влияние выполнения продолжительности.
4. Интеграция три уровня потребления СС в ЕСАСrisk (x)	$ЕСАСrisk (x) = AC(x) + \Omega(x) * BAC + \Omega(x) * CC \quad (6)$ $ЕСАСrisk (x) = AC(x) + \Omega(x) * BAC + \Omega(x)^2 * CC \quad (7)$ $ЕСАСrisk (x) = AC(x) + \Omega(x) * BAC + \sqrt{\Omega(x)} * CC \quad (8)$
Результат	Модель ЕСАСrisk с динамикой потребления СС

Модельная форма № 3 (уравнение 8): увеличение ССR. Ставка непредвиденных расходов СС увеличиваются нелинейно с BAC, и их изменение во времени определяется  $\sqrt{\Omega}$ , который имеет нелинейный характер из-за S-образной формы GGM. И ССR, и его ускорение увеличиваются непропорционально самой  $\sqrt{\Omega}$  и нелинейны. Это предполагает, что заложенные расходы бюджета на непредвиденные обстоятельства предпочтительнее: сниженная норма потребления СС при начале проекта следует ускоренное использование непредвиденных обстоятельств к концу проекта.

Кроме того, такое поведение при управлении рисками частично можно объяснить терпимостью руководителя проекта к риску. Три обычно используемых типа толерантности к риску - это «ищущий риск», «нейтральный к риску» и «избегающий риска». Другими словами, нейтральный к риску менеджер тратит СС с постоянной скоростью [22]. Для лица, принимающего на себя риск, больше СС доступно в начале проекта, что расходуется с более высоким СС по сравнению с непредвиденными расходами в конце проекта. С помощью средства предотвращения рисков в начале

проекта доступно больше непредвиденных обстоятельств, которые расходуются с более низким СС по сравнению с расходами в конце проекта.

Далее практическое руководство иллюстрирует применение исходной модели ЕСАСrisk к образцу проекта из набора данных исследования. Для демонстрации выбран ранний этап жизненного цикла проекта (AT=2). ВАС проекта составляет 0,532 млн евро, САС — 0,591 млн евро, PD — 11 месяцев, а фактическое время завершения — 13 месяцев. Результаты представлены в таблице 6.

Таблица 6. Пример валидации модели ЕСАС с СС.

Шаги	Действия
1. Нужно найти значения параметров GGM	<p>Нормировать все значения временных точек к единице.</p> <p>Предполагая, что PD=11 равно 1,00 (для временных точек), а ВАС=0,532 млн евро равно 1,00 (для PV и AC), точки как времени (предиктор), так и стоимости (реакция) нормализуются к единице. Значения AC-PV представляют собой комбинированные значения AC от нуля времени (x=0) до AT и PV от AT до ВАС=1.</p> <p>Затем, когда AT составляет 2 месяца и заработано 9,87% ВАС, исследование вычисляет оценку затрат. Для этого вышеуказанные значения предиктора и отклика загружаются в платформа нелинейной регрессии с GGM по уравнению. (4). Для нелинейной регрессии использовалось кодирование Python с соответствующими модулями подбора кривой для GGM.</p>
Результат	Значения трех параметров GGM: $\alpha$ -асимптота, $\gamma$ -пересечение $\beta$ и $\gamma$ -шкала составляют 1,267, 1,335 и 2,875 соответственно
2. Расчет $CEAC(\epsilon)_{orig}$	<p>Найти значения GGM для периодов, когда <math>x=AT</math> (т.е. <math>GGM(x)</math>) и <math>x=1,00</math> (т.е. <math>GGM(1)</math>).</p> <p>На шаге 2 для оценки на ранней стадии, когда AT=2 (<math>x=0,182</math>), значение <math>GGM(0,182)</math> рассчитывается согласно уравнению (2). Чтобы вычислить это значение, в уравнении используются значения <math>\alpha=1,267</math>, <math>\beta=1,335</math> и <math>\gamma=2,875</math> и это значение <math>GGM(0,182)</math> равно 0,133. Затем, когда AT=11 (<math>x=1,00</math>), значение <math>GGM(1,00)</math> рассчитывается согласно уравнению (2). Значение <math>GGM(1,00)</math> равно 0,98. Эти два значения GGM вычисляются, чтобы найти оставшуюся часть ВАС, которая представляет собой разницу значений по уравнению (1). Эта разница <math>GGM(1,0)-GGM(0,182)</math> составляет 0,847.</p> $EAC(\epsilon)_{orig} = 0,069 + 0,847 * 0,532 \quad (1)$
Результат	Исходное значение $EAC(\epsilon)_{orig} = 0,520$ млн евро
3. Интеграция CF в $CEAC(\epsilon)_{orig}$	<p>Преобразовать исходную модель <math>CEAC(\epsilon)</math> (уравнение (1)) путем замены <math>x=1,00=PD</math> значением CF.</p> <p>CF составляет 1,54, а GGM (CF = 1,54) — 1,210.</p> <p>Разница <math>GGM(CF(x))-GGM(x)</math> составляет 1,077.</p> $CEAC(\epsilon)_{orig} = 0,069 + 1,077 * 0,532 \quad (1)$
Результат	Исходное значение $CEAC(\epsilon)_{orig} = 0,0642$ млн евро
4. Интеграция три уровня потребления СС в ЕСАСrisk (x)	$ЕСАСrisk (x) = 0,069 + 1,077 * 0,532 + 1,077 * 0,532 * 20\% \quad (6)$ $ЕСАСrisk (x) = 0,069 + 1,077 * 0,532 + 1,077 * (0,532)^2 * 20\% \quad (7)$ $ЕСАСrisk (x) = 0,069 + 1,077 * 0,532 + 1,077 * \sqrt{0,532} * 20\% \quad (8)$
Результат	<p>Модель ЕСАСrisk с динамикой потребления СС</p> <p>ЕСАСrisk (x) (постоянный ССR) = 0,757 млн евро      модельная форма № 1</p> <p>ЕСАСrisk (x) (уменьшающий ССR) = 0,673 млн евро      модельная форма № 2</p> <p>ЕСАСrisk (x) (увеличающий ССR) = 0,799 млн евро      модельная форма № 3</p>

Модель EDAC устраняет разрыв между прогнозированием затрат на основе EVM и управлением СС, которые традиционно рассматриваются как два отдельных потока

исследования управления проектами, и объединяет их в комплексную модель. Модель представляет процесс расходования СС как неотъемлемый фактор эффективности проекта при расчете ЕСАС. Когда проект запускается, резерв на непредвиденные расходы используются для устранения неопределенности и рисков и для сохранения проекта в рамках согласованного графика, требований к стоимости и объему.

## 6. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

К выводам по практическим рекомендациям по EVM и PRMS прогнозированию можно отнести следующие:

- аналогов предлагаемой методологии не существует. Обзор показывает, что существующие модели не учитывают потребление резервов DC и CC в прогнозах EDAC и ECAC;

- в отличие от существующих моделей, предлагаемая методология способна учитывать риски через кривые резервов DC и CC и математически отражать их в формулах EDAC и ECAC;

- большинство инфраструктурных проектов реализуются с задержками по срокам и превышением бюджета; часто это вызвано рисками и неопределенностью окружающей среды. Следовательно, проектно-интенсивным отраслям нужна перспективная методология, которая способна учитывать влияние риска и неопределенности при прогнозировании продолжительности и стоимости проектов;

- в долгосрочной перспективе, данное практическое руководство внесет вклад в развитие *исследований в РМ и EVM* в Казахстане.

- практическое руководство по EVM и PRMS прогнозированию будет использоваться государственными и частными агентствами и министерствами, участвующими в реализации инфраструктурных проектов.

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящем документе применяются следующие термины с соответствующими определениями, обозначения и сокращения:

EVM (Earned value management) – метод освоенного объема.

EDAC (Estimated duration at completion) – оценка времени при завершении.

ECAC (Estimated cost at completion) – оценка стоимости при завершении

PM (Project management – управление проектами) – приложение знаний, навыков, инструментов и методов к работам проекта для удовлетворения требований, предъявляемых к проекту. Является частью системы менеджмента организации.

PRMS (Project risk management strategy) – стратегия управления рисками проекта.

PRM (Project risk management) – управление рисками проекта.

DC (Duration contingency) – резерв времени

CC (Cost contingency) – резерв стоимости, резерв на непредвиденные расходы

AT (Actual time) – фактическое время

BAC (Budget at completion) – бюджет по завершению

EV (Earned value) – освоенный объем

AC (Actual cost) – фактическая стоимость

SPI (Schedule performance index) – индекс выполнения срока

CPI (Cost performance index) – индекс выполнения стоимости

PD (Planned duration) – плановая продолжительность

BCWS (Budgeted Cost of Work Scheduled) – бюджетная стоимость запланированных работ.

BCWP (Budgeted Cost of Work Performed) – бюджетная стоимость выполненных работ

ACWP (Actual Cost of Work Performed) – фактическая стоимость выполненных работ

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. De Marco, A., Mangano, G., and Narbaev, T., 2017. The influence of risk on the equity share of build–operate–transfer projects. *Built environment project and asset management*, 7(1), 45–58. <https://doi.org/10.1108/BEPAM-02-2016-0003>
2. Narbaev, T., De Marco, A., 2013. Combination of a growth model and earned schedule to forecast project cost at completion. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(1) [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000783](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000783)
3. Narbaev, T., De Marco, A., 2014. An earned schedule-based regression model to improve cost estimate at completion. *International Journal of Project Management*, 32(6), 1007-1018. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.12.005>
4. Hazir, O., Haouari, M., Erel, E., 2010. Robust scheduling and robustness measures for the discrete time/cost trade-off problem. *European Journal of Operational Research*, 207 (2), 633-643. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.05.046>
5. Hazir, O., 2015. A review of analytical models, approaches and decision support tools in project monitoring and control. *International Journal of Project Management*, 33(4), 808-815. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.09.005>
6. Colin, J., Vanhoucke, M., 2015. A comparison of the performance of various project control methods using earned value management systems. *Expert Systems with Application*, 42(6), 3159–3175. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.12.007>
7. Anbari, F.T., 2003. Earned value project management method and extensions. *Project Management Journal*, 34(4), 12–23. <https://doi.org/10.1177/875697280303400403>
8. Fleming, Q.W., Koppelman, J.M., 2006. *Earned Value Project Management*, 232 p.. Project Management Institute, Inc., Newtown Square, PA
9. Bryde, D., Unterhitzenberger, C., Joby, R., 2018. Conditions of success for earned value analysis in projects. *International Journal of Project Management*, 36(3), 474–484. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.12.002>
10. Алгиев, С., 2012. Современное состояние и тенденции развития систем управления проектами на государственных программах РК. *Известие НАН РК*, 1, 28-34.
11. Алгиев, С., 2013. Статистический анализ критических факторов успеха управления проектами. *Экономика и Статистика*, 1, 77-81.
12. Kozhakhmetova, A., Zhidebekkyzy, A., Turginbayeva, A., & Akhmetova, Z., 2019. Modelling of project success factors: A cross-cultural comparison. *Economics and Sociology*, 12(2), 219-234 DOI:10.14254/2071-789X.2019/12-2/13
13. Tulembayev, A., Jumadilova, S., Adilova, A., Seidaliev, D., 2019. Introducing project management system into enterprises of defense industry in Kazakhstan. *Problems and Perspectives in Management*, 17(2), 527- 540. [http://dx.doi.org/10.21511/ppm.17\(2\).2019.41](http://dx.doi.org/10.21511/ppm.17(2).2019.41)
14. Kukhnavets, P., What are the Basic Concepts of Earned Value Management, Oct 11, 2019
15. Earned value analysis in project management: Survey and research potential Milind Padalkar, Saji Gopinath\* Quantitative Methods & Operations Management Indian Institute of Kozhikode, Kerala, India
16. Marshall, R. The Contribution of Earned Value Management to Project Success of Contracted Efforts. *Journal of Contract Management*, 2007, pp. 21-331.
17. Warburton, R.D.H., Cioffi, D.F., 2016. Estimating a project’s earned and final duration. *International Journal of Project Management*, 34 (8), 1493–1504. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.08.007>
18. PMI, 2009. *Practice Standard for Project Risk Management*. Project Management Institute. Newtown Square, PA.

19. B.C. Kim, K.F. Reinschmidt Probabilistic forecasting of project duration using Kalman filter and the earned value method J. Constr. Eng. Manage., 130 (1) (2010), pp. 25-32
20. Project Management Institute. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide).
21. Lipke, W. "Schedule is different". The Measurable News, 2003, 31- 34.
22. Kerzner, H, 2013. *Project management: A systems approach to planning, scheduling, and controlling*, 891 p. Wiley, Hoboken, NJ.