

НАУЧНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ

Editorial cutoff: 25 October 2026 · Publication: 26 October 2026

Парадокс цифрового процветания: подход к измерению непрерывности услуг при взаимозависимостях и общих потрясениях

The Digital Prosperity Paradox: A Service-Coverage Framework and an Executed Synthetic Dependency Experiment

MERIDIAN FUTURES LAB | Научное приложение M01 | Рабочая версия 1.0 | 25 октября 2026 года

Тип работы: критическая концептуальная статья с выполненным воспроизводимым синтетическим вычислительным экспериментом (Conceptual Working Paper with an Executed Synthetic Computational Experiment).

Статус: ограниченный обзор первичных свидетельств, экспериментальная синтетическая операционная модель с фактически рассчитанными результатами и предлагаемый протокол данных и проверки. **Работа не содержит оригинальных измерений саудовских операционных систем и не проходила научного рецензирования.**

Дата отсечения информации: 25 октября 2026 года. **Горизонт политики и испытаний:** 2026–2035 годы.

Аннотация

Работа исследует вопрос с двумя возможными ответами: повышает ли цифровая интеграция эффективность государства и его способность продолжать работу в кризисе или сосредоточение функций на общих зависимостях увеличивает последствия некоторых потрясений? Ответ нельзя вывести лишь из проникновения интернета или объёма технологического рынка: эти показатели описывают иные свойства, чем объём необходимой услуги, который удаётся оказать при одновременной нагрузке на вычислительную инфраструктуру, связь, поставщиков и обслуживание. Мы критически рассматриваем модели каскадных отказов (Cascading Failure), избыточных взаимозависимостей (Redundant Interdependencies), литературу по устойчивым системам и реальные примеры: удары, повредившие облачные регионы в странах Персидского залива в 2026 году; операционные задержки после масштабного программного сбоя 2024 года; недоставленные экстренные вызовы при сбое связи в 2023 году.

Мы предлагаем ограниченный показатель покрытия действительного спроса на уровне услуги в заданном временном окне, отдельно учитывая очередь, время восстановления

и стоимость. Затем проводим синтетический эксперимент из **40 000 окон в каждом из девяти наборов допущений** и сравниваем три абстрактные архитектуры: один общий путь, два резервных пути и два пути с ограниченной возможностью работы в сниженном режиме. В условном случае, где вероятность общего потрясения за 48 часов составляет 20%, а второй путь остаётся независимым от первого, среднее покрытие спроса равно соответственно **88,40%, 92,44% и 93,31%**. Когда оба пути принудительно разделяют одно событие, а дополнительная нагрузка мощности сохраняется, результаты составляют **88,37%, 87,04% и 88,81%**. Эти числа получены выполнением приложенного кода при полностью условных значениях; они не измеряют и не прогнозируют работу услуг Саудовской Аравии.

Концептуальный результат состоит в том, что направление выбора зависит от **типа зависимости и фактической совместной изменчивости причин отказа**, пригодности альтернативы, её стоимости и времени, когда пользователю нужна услуга. Работа предлагает протокол проверки на агрегированных данных разрешённых учений по восстановлению и сравнительных схемах, учитывающих различия в качестве институтов, финансировании и сложности услуг. Вклад работы — ясный инструмент для определения того, что следует измерять и какие условия меняют решение, а не заключение о безопасности конкретной инфраструктуры.

Ключевые слова: устойчивость цифрового государства (Digital-State Resilience); каскадный отказ (Cascading Failure); зависимость от общей причины (Common-Cause Dependency); непрерывность услуги (Service Continuity); синтетическая симуляция (Synthetic Simulation); восстановимость (Recoverability); составные потрясения (Compound Shocks).

English abstract

This conceptual working paper examines a conditional proposition: digital integration may raise routine service efficiency while increasing exposure to failures shared across dependent functions; alternatively, integration may strengthen monitoring, redundancy and recovery. The paper distinguishes access, experience, cybersecurity market size, and operational service continuity. It critically reads foundational work on cascading failures alongside evidence that redundant interdependencies can improve robustness. Three real-world evidence clusters inform the mechanism without serving as measurements of Saudi performance: wartime physical damage to Amazon Web Services infrastructure in the Gulf in 2026, a software-update outage with post-restoration backlogs in 2024, and an Australian telecommunications outage affecting emergency calls in 2023.

We propose a bounded valid-demand-coverage measure and separately track backlog, recovery duration, cost and unequal exposure. An executed, fully synthetic Monte Carlo experiment compares a shared single path, two paths, and two paths with limited safe fallback. Nine illustrative parameter combinations each use 40,000 paired trial windows of 48 hours. Under one assumed common-shock probability of 0.20 and independent path failures, mean valid-demand coverage is 88.40%, 92.44%, and 93.31% respectively. When two paths are forced to share an outage event, the respective results are 88.37%, 87.04%, and 88.81%. These outcomes are **conditional outputs of an invented model, not empirical Saudi estimates or operational forecasts**. A validation protocol specifies authorized aggregate data, rival hypotheses, causal identification requirements, uncertainty and decision thresholds.

Keywords: digital public infrastructure; interdependent networks; common-cause failure; resilience; service-coverage measurement; stochastic simulation; Saudi Arabia.

1. Исследовательский вопрос и проблема вывода

Главный вопрос: **как расширение цифровой интеграции меняет объём необходимого спроса, который услуги способны продолжать удовлетворять корректно и безопасно во**

время одновременных потрясений, если учесть структуру зависимостей, альтернативы, институциональную способность и стоимость?

Из него следуют пять частных вопросов:

1. При каких условиях интеграция снижает обычную стоимость услуги или повышает её качество и когда этот результат следует отделять от устойчивости услуги?
2. Какая доля снижения вызвана независимо работающими компонентами, а какая — одним событием, достигающим общих компонентов?
3. Когда резервные пути представляют собой независимые функциональные альтернативы, а когда лишь дублируют друг друга и затрагиваются одним событием?
4. Сохраняется ли полезная и безопасная часть услуг при невозможности полной обработки или связи и как это влияет на очередь и последующую сверку?
5. Как сопоставить стоимость альтернатив с ожидаемым ущербом и общественной ценностью продолжения работы, не оценивая основные права людей как обычные коммерческие операции?

В вопросе соединяются три цели: **описательная**, измеряющая произошедшее снижение; **причинная**, оценивающая влияние выбора архитектуры на работу услуги относительно возможной альтернативы; и **решенческая**, спрашивающая, какой дизайн оправдывает стоимость и ограничения. Достижение первой цели не доказывает две следующие. В более богатой и опытной стране услуги могут улучшаться по множеству причин одновременно с ростом интеграции; поэтому простой статистической связи между числом платформ и восстановлением недостаточно.

Конкурирующие гипотезы

- **H1 — выигрыш от интеграции:** при равных финансировании, управлении и характере спроса интеграция улучшает обычную работу и может ускорять восстановление благодаря единому мониторингу и сосредоточенной экспертизе.
- **H2 — общая подверженность:** когда несколько функций зависят от одного критического условия работы, потрясение этого условия увеличивает возможный масштаб снижения.
- **H3 — эффект реальной альтернативы:** если альтернативный механизм достаточно независим и может быть безопасно запущен, множественная зависимость способна уменьшить потерю услуги.
- **H4 — пределы формальной альтернативы:** если резерв и основная система разделяют одну причинную неисправность, стоимость резерва может поглотить его пользу.
- **H5 — очередь как часть результата:** восстановление технической связи может произойти раньше, чем будут завершены отложенные права, операции и запросы; поэтому время ремонта и время социального восстановления могут различаться.

H1 и H3 допускают, что в измеримых случаях исследование завершится выводом о **преимуществе интеграции**. H2 и H4 открывают возможность условного ущерба, а H5 не позволяет измерять успех по одному интерфейсу системы. Мы не утверждаем, что эти гипотезы были предварительно зарегистрированы во внешней организации.

2. Место работы в литературе

2.1 От устойчивости элемента к устойчивости составной сети

В 2010 году Сергей Булдырев и соавторы предложили математическую модель, показывающую, что взаимозависимость между сетями определённого типа может многократно переносить потерю узлов между слоями, увеличивая последствия небольшого начального воздействия. Работа помогает понять, почему проверки надёжности каждого слоя по отдельности недостаточно. [S11](#) Однако модель основана на

конкретных сетевых допущениях; прямой перенос её численных результатов на экономику или государство был бы ошибкой внешней валидности (External Validity).

Эту идею уравнивает исследование Филиппо Радикки и Джинестры Бьянкони 2017 года, строящее иной механизм: в некоторых многослойных сетях избыточные взаимозависимости повышают надёжность, а не снижают её. [S12](#) Поэтому исследование должно установить логику потребности в компонентах: **AND**, когда необходима одновременная работа всех; **OR**, когда достаточно одной альтернативы; либо более сложное правило, связанное с качеством и безопасностью услуги. Это не языковые различия: от них меняется множество состояний, в которых услуга остаётся успешной.

С точки зрения системной инженерии публикация Национального института стандартов и технологий США (National Institute of Standards and Technology; NIST) SP 800-160, том 2, редакция 1, даёт основу для размышления о предвидении неблагоприятных условий, противостоянии им, восстановлении и последующей адаптации. [S13](#) Этот документ рассматривает способность систем выполнять функции на протяжении жизненного цикла, а наше исследование переводит часть этих аспектов в количественные показатели на уровне услуги.

2.2 Интеллектуальная история сложности и взаимосвязанности

В книге «Нормальные аварии» (Normal Accidents) Чарльз Перро предлагает институциональную перспективу, различая труднопредсказуемые взаимодействия и тесную связь, не оставляющую времени для вмешательства. Это полезно для анализа плотно переплетённых цифровых услуг. [S14](#) Герберт Саймон в «Архитектуре сложности» (The Architecture of Complexity) закладывает основу для анализа относительно декомпозируемых структур (Near-Decomposability): организации, допускающей некоторую функциональную независимость внутри большой системы. [S15](#) Мы используем их идеи как инструменты объяснения, не превращая исторические примеры в эмпирические доказательства современной ситуации в странах Персидского залива.

2.3 Где находится пробел?

Теоретические работы показывают наличие возможных, но противоположных механизмов; отчёты об инцидентах фиксируют конкретные практические результаты. **Недостающее звено** — измеренные данные, связывающие степень интеграции, тип зависимости и объём действительного спроса, выполненного после общего сбоя. Средними показателями удовлетворённости или числом центров обработки данных этот пробел заполнить нельзя. Поэтому работа объединяет ограниченный обзор, воспроизводимый эксперимент и план разрешённой полевой проверки.

Мы не проводили всеобъемлющий систематический обзор (Systematic Review) всей литературы. Работы отбирались по трём основаниям: они закладывают механизм, представляют конкурирующий взгляд или являются первичным инженерным источником. Мы не утверждаем, что просмотрели все базы данных либо извлекли эмпирические размеры эффектов для метаанализа (Meta-analysis). Критерием остановки стала достаточность источников для пояснения конкурирующих гипотез и их границ, а не право назвать работу «систематическим обзором».

3. Свидетельства событий и пределы их переноса

Исходное событие	Подтверждённое источником наблюдение	Для чего оно используется в работе?	Чего оно не доказывает?
Удары по объектам Amazon Web Services (AWS) в странах Персидского залива в марте 2026 года и обновление о восстановлении в сентябре	Физический ущерб двум объектам в ОАЭ и последствия удара рядом с объектом в Бахрейне; в сентябре доступ к ресурсам, размещённым исключительно в определённых частях инфраструктуры, восстановить не удалось. S05S07	Проверка пределов пространственного разделения и восстановления данных при одновременном физическом воздействии, а также возможность успешного перезапуска у клиентов, перенёвших работу. S06	Что был поражён объект в Саудовской Аравии, что все клиенты потеряли данные или что доказана слабость местной инфраструктуры.
Дефектное обновление CrowdStrike, июль 2024 года	Компания признала дефект; местная структура NHS сообщила, что после возвращения системы очередь работ сохранилась. S08S09	Необходимость отделять техническую готовность от устранения очереди и времени завершения услуги.	Масштаб последствий для всех медицинских учреждений или причинный результат каждой резервной меры.
Сбой Optus в Австралии, ноябрь 2023 года	Регулятор установил, что 2 145 пользователей не получили доступ к экстренной службе и не были выполнены 369 необходимых проверок. S10	Учёт качества и времени услуги, особенно когда её ценность связана со срочным доступом.	Смерти, конкретный ущерб отдельным людям или перенос вероятности на другую страну.

Причинное примечание: в марте 2026 года Reuters сообщало, что один региональный банк объявил о сбоях в приложениях и услугах в тот же период, но материал не приписывал этот сбой непосредственно происшествию в AWS. [S05](#) Поэтому работа не использует одно временное совпадение как доказательство переноса эффекта от этих объектов на названный банк.

Официальные саудовские данные сообщают о проникновении интернета в 99,6% в 2025 году по отчёту, выпущенному в 2026 году; зрелости цифрового опыта в 86,71% по оценке 50 платформ в 2025 году; и рынке кибербезопасности объёмом 16,3 млрд риялов в 2025 году по выпуску октября 2026 года. [S01S02S03](#) Мы не объединяем эти величины в составной индекс непрерывности: у них разные предметы, единицы, источники и знаменатели. Они подтверждают масштаб деятельности и важность вопроса, который мы хотим проверить, но не результат проверки.

4. Предлагаемый показатель: объём полезной услуги в заданном окне

Пусть заданы услуга (j), сценарий (s) и период (T>0). Определим $D_{j,s}^*(t)$ как **обоснованный эталонный спрос** на основную услугу в момент (t), а $Q_{j,s}^{\text{valid}}(t)$ — как **фактически выполненный объём**, удовлетворяющий требованиям безопасности, качества, доступности и времени в тот же период. Тогда:

$$C_{j,s,T} = \frac{\int_0^T \min\{Q_{j,s}^{\text{valid}}(t), D_{j,s}^*(t)\} dt}{\int_0^T D_{j,s}^*(t) dt}.$$

Для интерпретации выражения нужны четыре условия: $D^* \geq 0$, $Q^{\text{valid}} \geq 0$, одинаковые единицы в числителе и знаменателе и положительный совокупный спрос в знаменателе. Оператор $\min$ обеспечивает $0 \leq C \leq 1$, если допущения соблюдены. При нулевом эталонном спросе случай отмечается как неприменимый: делить на ноль или молча менять знаменатель нельзя.

Для совокупности услуг можно предложить $R_{s,T} = \sum_j w_j C_{j,s,T}$ с неотрицательными весами, сумма которых равна единице. Но для этого нужны социальное и институциональное обоснование весов, отчёт по каждой услуге отдельно и проверка влияния региональных различий либо распределения спроса между группами получателей. Среднее может оставаться высоким при отказе услуги с малым весом, но высоким риском. Когда согласовать веса невозможно, отдельная панель показателей честнее.

Зачем нужен эталонный спрос?

Зарегистрированный спрос иногда падает потому, что пользователи вообще не могут подать запрос, а системы перестают принимать работу. Если использовать единственным знаменателем зарегистрированный во время сбоя спрос, доля может улучшиться, пока получатели ждут снаружи. Поэтому нужен разумный базовый уровень, основанный на истории использования, сезонности, типе услуги и поведении людей в кризисе, а также анализ чувствительности к изменению этого уровня.

Почему одного показателя недостаточно?

Он не обязательно учитывает работу, отложенную за пределы окна наблюдения, необратимый ущерб, ошибки сверки, ненаблюдаемое качество операции или операционные затраты. Дополнительно мы предлагаем учитывать: наиболее тяжёлый дефицит известной продолжительности; время достижения требуемого уровня услуги и устойчивого пребывания на нём заданное время; размер очереди и способ её устранения; состояние недоступных данных; отдельно рассчитанную экономическую стоимость; агрегированные различия между регионами или услугами. Случаи, не восстановившиеся до конца периода, следует помечать как цензурированные справа (Right-Censored), а не как «восстановившиеся в последний день».

5. Выполненный вычислительный эксперимент

5.1 Цель и область эксперимента

Узкая научная задача эксперимента — **проверить чувствительность покрытия к структуре альтернатив и зависимостям отказа**. Он не моделирует реальную сеть, не оценивает частоту ударов или отказов компонентов в странах Персидского залива и не испытывает план реагирования реальной организации. Все случаи условны, а результаты относятся к модели при данных допущениях.

Мы задали пять абстрактных классов услуг без названий организаций с весами спроса ($w=[0.28,0.24,0.20,0.16,0.12]$), в сумме равными единице. Для каждой услуги единица спроса означает одну условную единицу в час на протяжении ($T=48$) часов. Веса и интенсивность спроса во время кризиса не меняются — существенное упрощение, не позволяющее объявить модель представлением поведения реальных пользователей. В каждом окне события отказа могут начинаться внутри периода; у услуг также происходят отдельные независимые локальные события. Пути сравниваются при **однократно сгенерированных общих событиях** внутри каждого набора допущений — это парное сравнение (Paired Comparison), уменьшающее вариативность различий между архитектурами.

5.2 Три архитектуры

A — один общий путь (Single Shared Path). Услуга зависит от одного основного компонента, отсутствия общего потрясения и исправности локального компонента. При нарушении любого условия действительный объём в этот час равен нулю; иначе — полной единице.

B — два взаимозаменяемых пути (Two Paths). Достаточно исправности одного основного пути при отсутствии общего потрясения и исправности локальной услуги. Нормальная мощность задана как **0,985 единицы** за исправный час, то есть условное снижение операционной мощности на **1,5%** за поддержку архитектуры. Это снижение не считается оценённой денежной стоимостью или универсальным штрафом за распределение; это синтетический коэффициент, который можно менять в последующих моделях.

C — два пути с ограниченным действительным резервом (Two Paths with Bounded Fallback). Архитектура совпадает с B при доступной общей инфраструктуре и добавляет контролируемую условную мощность для некоторых классов услуг во время её отказа: ($f=[0.30,0.25,0.10,0,0]$). Мы предположили, что эти доли способны дать безопасную и действительную услугу, **не доказав этого для реальной услуги**. Нули для двух последних классов признают, что некоторую работу нельзя выполнять в сниженном режиме или без требуемой проверки. Модель не считает ошибки сверки или отложенного хранения — ограничения, влияющие на фактическую осуществимость.

Для алгебраического представления пусть C_t — общее потрясение, выводящее из строя основную систему; P_t — отказ первого пути; B_t — отказ альтернативы; $L_{j,t}$ — исправность локального компонента услуги (j). Событие отказа равно единице в час сбоя и нулю вне его; для (L) значения обратны. Для упрощения используются произведения логических масок. Тогда абстрактный действительный объём равен:

$$\begin{aligned} Q_{j,t}^A &= L_{j,t}(1 - C_t)(1 - P_t), \\ Q_{j,t}^B &= 0.985L_{j,t}(1 - C_t)(1 - P_tB_t), \\ Q_{j,t}^C &= L_{j,t} [0.985U_t + f_j(1 - U_t)], \quad U_t = (1 - C_t)(1 - P_tB_t). \end{aligned}$$

Формулировка различает **одновременную необходимость** соблюдения условий одной услуги и **замещение** между двумя путями. Она также отделяет условный результат «услуга действительна» от простого наличия сетевого соединения.

5.3 События потрясений и случайность

Параметр	Использованные синтетические значения	Толкование и ограничения
Длина окна	48 часов	Стандартный период сравнения, не равный фактическому времени восстановления
Число испытаний	40 000 окон для каждого из девяти наборов	360 000 сгенерированных окон; каждый дизайн сравнивается внутри своего набора, что даёт 27 групп результатов по архитектурам
Вероятность основного отказа в окне	0,38	Допущение эксперимента, а не частота отказов облака или организаций
Вероятность локального сбоя для услуги	0,10	Локальные события генерируются независимо для каждого класса
Вероятность общего потрясения	0; 0,20; 0,50	Три условия чувствительности, а не прогноз на следующие 48 часов
Совместность события отказа двух путей	0; 0,50; 1,00	Смесь независимых и одинаковых событий; эти числа не являются коэффициентом корреляции Пирсона (Pearson Correlation)
Длительность событий первого пути	4 или 12 часов	Случайно выбирается для каждого реализованного события
Длительность общего потрясения	6 или 18 часов	Относится к основной инфраструктуре обоих путей
Длительность локальных событий услуги	2 или 6 часов	Влияет на одну услугу даже при сохранении общих путей
Нормальная мощность В и С	98,5%	Условная синтетическая цена мощности; не включает деньги, энергию или обслуживание
Мощность сниженного режима для некоторых услуг	30%, 25%, 10%, 0%, 0%	Значения зависят от допущения о безопасности, которую нельзя гарантировать до испытания реальной услуги
Окно каждого события выбирается из часов начала, позволяющих уместить самую долгую заданную для компонента длительность в период наблюдения; поэтому короткие события могут смещаться к более раннему началу. Это открыто указанное свойство сценария, а не описание временного распределения реальных отказов. При уровне «совместности отказа» 1 альтернатива копирует окно простоя основной системы. При нуле она получает независимое событие с теми же маргинальными значениями. На промежуточном уровне код выбирает между копированием и независимостью по заданной смеси. Мы использовали генератор случайных чисел NumPy с исходным начальным значением 20261025 и документированными производными для каждого набора. Код, создавший результаты, находится в <code>analysis/reproduce.py</code>; он записывает полную таблицу в <code>data/simulation_results.csv</code>, а допущения — в <code>data/assumptions.json</code>. Код действительно был выполнен для получения приложенных таблиц и графиков. Повторный запуск воспроизводит те же числа в документированной среде и версии программного обеспечения.		

5.4 Результаты и статистики

Для каждого экспериментального окна вычисляется временное среднее взвешенного покрытия спроса, затем среднее этого результата по сорока тысячам окон. Мы также считаем **долю окон, не достигших покрытия 90%, и долю часов эксперимента, когда взвешенная сумма была ниже 50%**. Эти пороги выбраны как демонстрационные тесты внутри модели; они не проходили институционального утверждения или калибровки как границы безопасности реальных услуг.

Вместе со средним приводится стандартная ошибка Монте-Карло (Monte Carlo Standard Error): стандартное отклонение результатов по окнам, делённое на квадратный корень из их числа. Она описывает колебание численной оценки из-за размера симуляции, но не измеряет незнание реальных вероятностей, ошибку выбора весов или обобщаемость модели. Поэтому интервалы на вычислительном графике нельзя называть «доверительными интервалами устойчивости Саудовской Аравии».

6. Рассчитанные результаты и их прочтение

6.1 Покрытие при изменении потрясения и зависимости

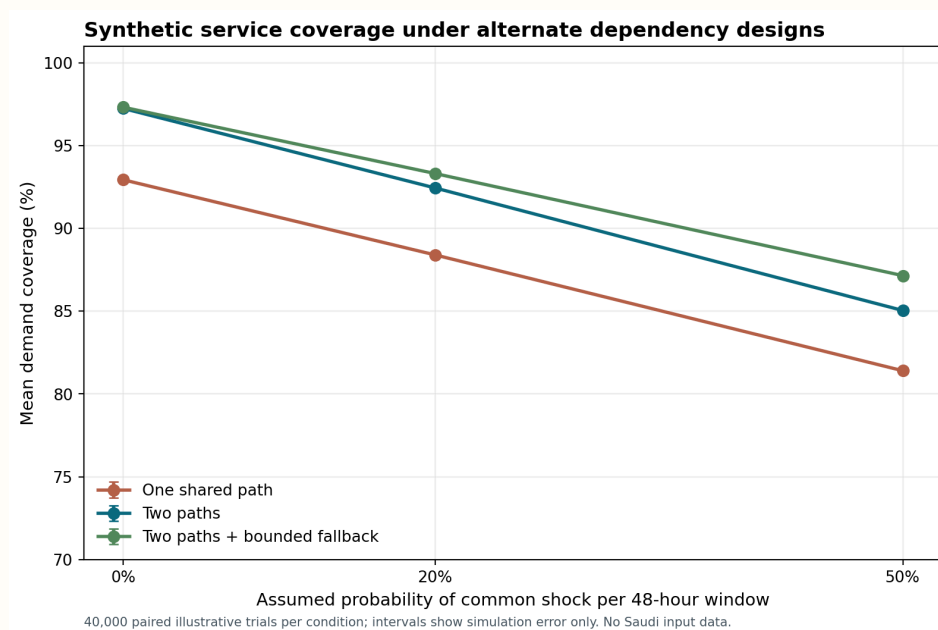
Вероятность общего потрясения в каждом окне	Смесь отказов двух путей	A: один путь	B: два пути	C: два пути + ограниченное продолжение
0%	0,0	92,93%	97,24%	97,31%
0%	0,5	92,88%	94,32%	94,88%
0%	1,0	92,96%	91,56%	92,58%
20%	0,0	88,40%	92,44%	93,31%
20%	0,5	88,24%	89,61%	90,95%
20%	1,0	88,37%	87,04%	88,81%
50%	0,0	81,40%	85,04%	87,14%
50%	0,5	81,44%	82,67%	85,17%
50%	1,0	81,40%	80,18%	83,09%

Таблица 3 — Фактически рассчитанный результат синтетической модели. Каждая ячейка — среднее 40 тысяч окон, а не измерение сектора или государства. Небольшие различия в десятых долях между строками A возникают из-за независимых случайных выборок в разных наборах условий.

Первый условный вывод: **независимость причин отказа важнее самого числа путей**. При условной вероятности общего потрясения 20% и независимых событиях двух путей В превосходит А примерно на 4,04 процентного пункта. Когда пути принудительно разделяют одно событие отказа, порядок А и В меняется: А оказывается впереди примерно на 1,33 пункта. Внутри модели это объясняется условной нагрузкой мощности В без компенсации реальной независимостью. Это не закон реальности, согласно которому резерв «вредит», а следствие выбранных параметров и правила отказа.

Второй условный вывод: сниженный режим добавляет покрытие во всех показанных случаях, потому что вводит положительное допущение, отсутствующее в двух других архитектурах, — действительную мощность при отказе пути. Этот результат **встроен в математическую структуру**. Чтобы превратить его в рекомендацию, нужно доказать, что мощность реальна, безопасна и приемлема для пользователя и регулятора, а её стоимость и обязательства последующей сверки не делают её хуже организованной отсрочки.

Третье: одно увеличение числа путей не устраняет общего потрясения, которое выводит из строя оба. При условной вероятности 50% покрытие В оставалось ниже 86% даже при независимых отдельных событиях двух путей. Масштаб дефицита зависит от условной длительности потрясения; изменение длительностей изменит результат. Такой следующий анализ чувствительности в этой редакции не проводился.



Среднее покрытие спроса в синтетической симуляции при изменении общего потрясения

Рисунок 1 в исследовательской работе — синтетические средние доли в сценарии, где два пути не разделяют отдельные события отказа. Источник: только выполнение кода данного исследования.

6.2 Хвостовой показатель: окна с покрытием ниже 90%

При вероятности общего потрясения **20%** и независимости путей доля окон, где среднее покрытие упало ниже 90%, составила около **37,7%** для А, **21,5%** для В и **21,2%** для С. При принудительной совместности одного события отказа доли равнялись соответственно **37,7%**, **41,0%** и **37,8%**. Этот вопрос отличается от вопроса о среднем покрытии: средние могут быть близки при заметно разном числе плохих периодов. Но расчёт остаётся синтетическим и зависит от выбранного порога 90%.

Потеря операции к концу периода или её позднейшее возмещение здесь не измеряются. Эксперимент не представляет очередь невыполненного спроса, приоритет реальных случаев или распределение ущерба между семьями и регионами, поскольку эти переменные не были переданы модели. Название «симуляционное исследование» не даёт оснований утверждать, что оно моделирует всю экономическую и социальную жизнь.

6.3 При каких условиях вывод может перевернуться?

- Если условные потери мощности В в нормальных условиях вырастут, изменится порог, после которого ожидаемая польза независимости превышает стоимость. Широкий диапазон таких издержек пока не проверен.
- Если паттерны отказа альтернатив сильнее связаны, чем мы предположили, польза дублирования снизится; при действительно независимых технологиях и поставщиках она может вырасти.
- Если сниженный режим не способен проверить личность получателя или целостность данных, его **действительная** доля может упасть до нуля либо работа станет неприемлемой, несмотря на техническую способность.

- Если во время сбоя спрос возрастает или после возвращения ресурсов сохраняется очередь, покрытие и последующие операционные результаты могут измениться так, как нынешняя модель не отражает.
- Если интеграция ускоряет обнаружение сбоя или перенос услуги, фактическая длительность отказа сократится, а устойчивость может вырасти, несмотря на общие зависимости. Модель прямо не оценивает это институциональное преимущество.

7. Как проверить гипотезу на реальных услугах Саудовской Аравии?

Прикладному исследованию нужна скромная исходная позиция: **у нас нет разрешённых операционных журналов для измерения непрерывности конкретных саудовских услуг во время войны или учений по восстановлению.** Общие цифровые показатели также не дают подробного временного ряда действительного спроса, сбоя, очереди и альтернатив. Поэтому далее предлагается протокол, а не описываются собранные данные или проведённые испытания.

7.1 Единица анализа и выборка

Лучшей исходной единицей служит **необходимая услуга в заданном временном окне и при определённом отказе** с возможностью сравнить агрегированные площадки или институциональные группы без раскрытия характеристик чувствительных объектов. Услуги выбираются по срочности, безопасности и доступности при наличии разрешения на агрегированные данные. До определения окончательного числа услуг и периода наблюдения надо оценить достаточность журналов и справедливый способ выделения классов; нельзя придумывать размер выборки только потому, что он выглядит научно.

Цифровые зависимости можно описательно разделить на пять классов без раскрытия уязвимых деталей: **поставщик вычислений; связь; идентификация и авторизация; компонент сверки или интеграции; человеческая или операционная способность.** Цель — выяснить, зависят ли функции от одного класса поставщиков, механизма восстановления или организационного ключа, не публикуя рабочие маршруты, адреса или сведения для выбора цели. К этому добавляются данные о длительности снижения услуги, а не только реестр оборудования.

7.2 Минимальная матрица переменных

Предлагаемая переменная	Операционное определение, которое следует согласовать заранее	Как защитить валидность
Тип услуги	Функциональный класс с заданными чувствительностью и допустимым временем	Не смешивать срочную услугу с той, которую можно отложить без сходного ущерба
Объём эталонного спроса	Ожидаемый спрос, обоснованный прежними данными или моделью с неопределённостью	Сообщать периоды, сезонность и случаи, чей спрос не дошёл до системы
Действительный объём	Запросы, завершённые безопасно, корректно, вовремя и по неизменному определению успеха	Проверять выборку данных о выполнении и различать получение и завершение
Общая зависимость	Агрегированные классы зависимостей и поставщиков	Не публиковать объект или организацию, чья уязвимость может быть выведена из данных
Независимость альтернативы	Результат разрешённого фактического учения по переключению и время переноса	Проверять работу копий, ключей и процедур, а не только их наличие
Очередь	Запросы, не выполненные в срок или требующие позднейшей сверки	Записывать возраст запросов, ошибки и возвраты, а не одно число
Стоимость	Стоимость жизненного цикла способности продолжать работу и расходы на тестовое событие	Отделять постоянные затраты от событийных и нереализованного ущерба
Институциональный контекст	Ресурсы, характер пользователя, зрелость управления и сложность услуги	Учитывать их при объяснении различий до приписывания эффекта интеграции

В пилотном исследовании $C_{j,s,T}$ можно рассчитать на уровне услуги и дополнить временным рядом очереди и результатом конкретного испытания альтернативы. В отчёте следует указывать, являются ли данные экспериментальными, получены ли они во внутреннем испытании или относятся к наблюдавшемуся событию. Эти типы нельзя сводить к одному среднему лишь потому, что они помещаются в общий табличный файл.

7.3 Определение причинного сравнения

Предположим, предлагается перейти от операционной архитектуры α к архитектуре β . Подлинный причинный вопрос — разница в результате услуги, **если бы она работала в сопоставимых условиях** при каждой архитектуре. Нельзя одновременно наблюдать оба потенциальных результата для одной услуги при одном потрясении; значит, нужен дизайн вывода.

Если защитные учения разрешены и безопасны, архитектуры или сценарии восстановления можно сравнить при единых правилах спроса и ясных измерениях. При этом опыт тестовой команды не должен накапливаться так, чтобы последний дизайн казался лучше лишь из-за дополнительного обучения. При понятных групповых и временных различиях могут помочь поэтапное внедрение или повторные сравнения; но надо проверять предшествующие тренды, одновременные события и перенос эффекта между организациями или поставщиками.

Слабая альтернатива — собрать оценки «интеграции» и «устойчивости» в одном опросе, а затем вывести причинность из высокой корреляции. Организация с большим бюджетом и сильной экспертной командой может получить высокие баллы по обоим признакам. Это **смешивающие переменные (Confounders)**, которые следует описать; часть из них трудно контролировать статистически. Иногда условия причинной идентификации (Causal Identification) отсутствуют — и тогда дисциплинированное сравнительное описание вернее действительности.

7.4 Критерий, способный изменить вывод работы

Тезис об общей подверженности ослабнет для исследуемого класса, если повторные независимые учения интегрированной услуги покажут более высокое покрытие действительного спроса и меньшие время восстановления и очередь при разных потрясениях после учёта альтернатив поставщиков, финансирования и зрелости управления. Он укрепит, если одновременное снижение функций можно будет связать с документированной общей зависимостью, а эксперимент покажет, что независимые альтернативы уменьшают потерю без новых существенных ошибок. В обоих направлениях необходимо объяснять стоимость, пользу и ограничения и проверять, сохраняется ли эффект в других классах услуг.

8. От показателя к экономическому и социальному решению

Организация может регулярно платить за резерв, который не нужен в большинство дней. Если смотреть лишь на обычный средний день, платёж кажется расточительством. Но он может быть рациональным выбором, когда простой стоит больше ремонта компьютера: ожидание лекарства, невозможность подтвердить операцию, задержка производства или риск недоставленного срочного вызова. Без этической и методологической основы эти последствия нельзя складывать в одно денежное число, но нельзя и удалять их из расчёта только потому, что их трудно оценить.

Условное экономическое сравнение можно записать так:

$$\text{Total expected lifecycle burden} = \text{routine operating cost} + \text{resilience investment} + \mathbb{E}[\text{permitted disruption loss}] + \text{transition a}$$

Это не численная оценка саудовской экономики и не утверждение, что всякую человеческую пользу можно выразить ценой. Каждый член требует определения и источников; одну потерю нельзя считать дважды при её переходе между поставщиком и клиентом. Решение меняется в зависимости от силы и длительности потрясений, страховых компенсаций, соблюдения правил и наличия пригодных внешних альтернатив. Оно может обосновать скромную возможность продолжения одной услуги, крупные инвестиции в другую и организованную отсрочку третьей.

С точки зрения вычислительной экономики (Computational Economics), экономию нормальных условий следует сопоставить с возможным вкладом общей зависимости в глубину, скорость и стоимость ухудшения. Если услуги способны переключить путь или восстановить операции до окончания окна ущерба, ценность независимости растёт. Если постоянные расходы на резервные центры отнимают более полезные ресурсы без измеримого улучшения, дополнительная сложность может быть неоправданной. Численные параметры этой связи требуют реальных данных.

Есть и распределительный аспект: высокий средний уровень услуги для большинства не гарантирует доступа человеку, который не может воспользоваться альтернативным каналом, или малому предприятию, чей бюджет не позволяет купить вторую облачную копию. Поэтому при оценке продолжения работы предлагается разделять **среднее, тяжёлый дефицит и справедливость доступа**. Любой выбор весов и порогов следует

публиковать вместе с последствиями их изменения, чтобы один индекс не скрывал пострадавшую группу.

9. Условные сценарии до 2035 года

Эти сценарии **не являются прогнозами с оценёнными вероятностями**; это способы определить решения и показатели, которые должны меняться вместе с ними.

1. **Траектория повышения надёжности интеграции:** организации измеряют услугу на всём пути пользователя, испытывают переход к независимым альтернативам и управляют очередью. Наблюдаемая проверка: сокращение периода низкой работы при соразмерной стоимости и более полном покрытии действительного спроса.
2. **Траектория концентрации зависимостей:** растут числа пользователей, операций и оборудования, но фактическое переключение по-прежнему зависит от немногих сходных механизмов. Наблюдаемая проверка: повторные неудачи переключения в разных учениях или сохранение данных исключительно в границах, которые трудно преодолеть при широком потрясении.
3. **Траектория институционального обучения и специализированной отрасли:** компетенции в мониторинге функции, восстановлении и работе в сниженном режиме превращаются в проверяемые продукты, продаваемые многим организациям. Наблюдаемая проверка: реальные продажи и документированные результаты у независимых клиентов с возможностью повторно измерить пользу.

Обновлять сценарии следует при изменении документированных данных или проведении нового испытания. Новостное сообщение о возможной военной угрозе меняет сценарии, заслуживающие проверки, но не позволяет записать событие как уже произошедшее или назначить точную вероятность его даты. Для калибровки прогнозной уверенности (Forecast Calibration) нужен журнал прогнозов, выпущенных до результата, и ясные правила оценки; это выходит за пределы нынешней работы.

10. Ограничения исследования и оценка правдоподобия

Ограничения информации: открытые страницы государственных органов дают показатели проникновения, зрелости и рынка, но не содержат компонентов, необходимых здесь для анализа саудовской услуги при составном потрясении. Отсутствие таких данных в нашей работе не следует толковать как доказательство того, что их нет у организаций. Происшествие с облачными объектами описано первичными и профессиональными источниками, но у нас нет клиентских журналов для вывода о частоте, распределении потерь или последствиях для саудовских функций.

Ограничения источников об инцидентах: заявления поставщиков — первичные источники о том, что объявили сами поставщики; некоторые выводы могут нуждаться в независимой проверке. Сообщения об одновременном сбое другой организации недостаточно для доказательства переноса отказа. Установленные регулятором факты об Optus не превращают недоставленные вызовы в неподтверждённые утверждения об индивидуальном здоровье. Сведения британской службы здравоохранения относятся к определённым услугам и месту.

Ограничения эксперимента: классы, веса, вероятности, длительности сбоев, архитектуры и величина сниженного режима синтетические. Нет реально применённых финансовых или правовых условий, модели перегрузки или перетока спроса между услугами, социального распределения ущерба и институционального обучения после каждого события. Допущение об одном окне отказа для каждого компонента за 48 часов может не подходить длительным кризисам или последовательным атакам. «Совместность отказа» — вероятностная смесь эксперимента, а не оценка универсальной корреляции между поставщиками.

Ограничения показателей: число часов исправной работы само по себе не равно непрерывности прав; покрытия спроса недостаточно без валидности эталонного спроса, последствий задержки и распределения доступа. Сравнение разных услуг вводит в заблуждение, если меняется определение «корректного завершения» или способ учёта работы, не дошедшей до портала.

Ограничения литературы: обзор избирателен и ориентирован на механизмы. Две сетевые работы основаны на разных допущениях; кажущееся противоречие результатов сообщает об условиях работы системы. Мы не проводили всеобъемлющий поиск всех публикаций или систематический обзор по правилам отчётности систематических обзоров.

Что практически проверено: программа симуляции была выполнена и создала файл значений, допущения и читаемые графики. Проверена согласованность весов услуг и основных границ синтетической мощности. Это ограниченная вычислительная проверка; она не означает, что модель верна для внешней реальности или что будущее будет похоже на её выборки.

11. Предлагаемая программа следующего исследования

Работу можно развить в независимое эмпирическое исследование через четыре взаимосвязанных шага при условии, что доступ и определения будут согласованы до просмотра результатов.

Шаг первый: протокол определения услуг. Выделяется измеримый набор необходимых функций, различающихся по требованиям ко времени; определяются качество выполнения и допустимая задержка. Устанавливаются защита приватности и сокрытие структуры отдельных объектов. До подтверждающего анализа протокол фиксирует правила исключения недостаточных данных и обработки пропусков.

Шаг второй: агрегированная карта зависимостей и испытанные альтернативы. Исследователи различают общность поставщика, программного обеспечения, региона, идентификации и способа ремонта. Операционные карты критических объектов не публикуются; при необходимости используются отраслевые таблицы, обезличенные или синтетические данные. Измеряются время перехода и качество выполнения, а не число альтернатив в закупочном документе.

Шаг третий: сравнение с опровержимыми гипотезами. Разрешённые учения включают отказ одного компонента, нескольких независимых компонентов и условное событие, затрагивающее общую зависимость, с согласованной шкалой тяжести. Определяются наиболее чувствительные ко времени функции; исследование отслеживает спрос, который был потерян, задержан или выполнен альтернативным способом. Правила учёта очереди и восстановления следует зарегистрировать заранее.

Шаг четвёртый: экономический анализ и независимое повторение. Рассчитывается стоимость жизненного цикла; варианты резерва и уменьшения зависимости сопоставляются с фактическим продолжением услуги. Переносимость проверяется на другом наборе услуг или в последующих учениях. Количественные прогнозы будущего строятся только после появления ряда результатов, допускающего сравнение вне выборки и измерение калибровки уверенности, а не по одному эксперименту.

Если исследование покажет, что интеграция повышает покрытие спроса в обычных условиях и при потрясениях, это стратегически ценный результат, который следует опубликовать. Если обнаружится, что конкретная общая зависимость создаёт широкий дефицит, объяснение публикуется в своих границах и с защитой инфраструктуры. Предлагаемые альтернативы должны пройти независимую проверку, чтобы драматичная история не стала готовым оправданием покупки оборудования с неизвестной пользой.

12. Воспроизводимые результаты и доступность данных

В пакет входят следующие созданные материалы:

- `analysis/reproduce.py`: полный исходный код генерации синтетических событий, расчёта показателей и построения графиков.
- `data/assumptions.json`: переменные сценария, веса, ограничения, начальные значения и пределы толкования.
- `data/simulation_results.csv`: 27 строк результатов для 9 наборов допущений и 3 вариантов архитектуры.
- `figures/figure_01_dependency_map.svg` и `.png`: схема абстрактных связей, не представляющая конкретный объект.
- `figures/figure_02_coverage_sensitivity.svg` и `.png`: сгруппированные средние и ошибка симуляции для набора условий.
- `analysis/requirements.txt`: список библиотек, необходимых для запуска примера.

Файлы данных не содержат саудовских журналов, пользовательских данных или карт объектов. Единственный источник чисел симуляции — описанный генератор синтетического сценария; результаты можно воспроизвести, запустив программу по инструкциям `analysis/README.md`. Реальные источники являются открытыми публикациями; при повторном использовании следует обращаться к их датированным версиям и фиксировать последующие исправления.

13. Научный вывод и открытый вопрос

Опубликованные свидетельства дают веское основание исследовать общие зависимости цифрового государства. Противостоящие им теоретические результаты показывают, что интеграция может повысить надёжность, если создаёт независимые альтернативы. Документированные инциденты указывают, что услуга, данные и очередь могут восстанавливаться в разное время. Выполненная нами симуляция доказала только внутри собственной модели: сравнительный результат меняется при переходе от независимой альтернативы к альтернативе с общей причиной отказа, а действительный сниженный режим способен вернуть часть спроса, но не устранить все потери.

Проверяемый практический вывод: если цифровое государство хочет знать, насколько далеко оно продвинулось под нагрузкой, ему следует агрегированно измерять объём необходимого спроса, который продолжает безопасно обслуживаться, скорость возвращения к известному уровню и цену возможностей, делающих это возможным, одновременно сообщая, чего нынешние числа доказать не могут. Открытый вопрос следующего исследования: **какой тип операционной независимости лучше всего защищает каждый класс услуг при ограничениях стоимости, прав, местоположения и ресурсов?**

Источники и правила атрибуции

Источники датированы издателями, а ссылки служат основой проверки утверждений. Содержание некоторых динамических государственных страниц удалось проверить через поисковую индексацию или связанные официальные публикации; это отмечено в `source_register.csv`. Подтверждение факта выпуска отчёта нельзя смешивать с подтверждением каждого возможного толкования его числа.

1. [S01](https://www.cst.gov.sa/en/knowledge-center/reports/saudi-internet-25) Communications, Space and Technology Commission (CST), *Saudi Internet 2025*, 2026. <https://www.cst.gov.sa/en/knowledge-center/reports/saudi-internet-25>
2. [S02](https://dga.gov.sa/en/news/rise-in-the-digital-experience) Digital Government Authority (DGA), *The Digital Experience Maturity Index for 2025 Rises to 86.71%*, August 2025. <https://dga.gov.sa/en/news/rise-in-the-digital-experience>

[maturity-Index-2025](#)

3. **S03** National Cybersecurity Authority (NCA), *Key Economic Indicators in the Cybersecurity Sector 2026*, 14 October 2026, figures for 2025.
<https://nca.gov.sa/en/news/report-on-key-economic-indicators-in-the-cybersecurity-sector-in-the-kingdom-2026/>
4. **S04** Amazon Web Services, *AWS Health Dashboard: Service Health and Historical Incident Updates*, March–October 2026; consult event history as revised.
<https://health.aws.amazon.com/health/status>
5. **S05** Reuters, *Amazon cloud unit's data centers in UAE, Bahrain damaged in drone strikes*, published 2 March 2026, updated 3 March 2026. <https://www.reuters.com/world/middle-east/amazon-cloud-unit-flags-issues-bahrain-uae-data-centers-amid-iran-strikes-2026-03-02/>
6. **S06** Amazon Staff, *AWS Bahrain Region disrupted by ongoing conflict*, 24 March 2026.
<https://www.aboutamazon.com/news/aws-bahrain-region-middle-east-conflict>
7. **S07** Reuters, *Amazon's AWS is unable to restore access to Bahrain, one UAE cloud data zone after war damage*, 15 September 2026. <https://www.reuters.com/world/middle-east/amazons-aws-is-unable-restore-access-bahrain-one-uae-cloud-data-zone-after-war-2026-09-15/>
8. **S08** CrowdStrike, *To Our Customers and Partners*, 19 July 2024.
<https://www.crowdstrike.com/en-us/blog/to-our-customers-and-partners/>
9. **S09** NHS Shropshire, Telford and Wrekin, *Update on IT outage – EMIS up and running but some delays expected*, 22 July 2024.
<https://www.shropshiretelfordandwrekin.nhs.uk/news/update-on-it-outage-emis-up-and-running-but-some-delays-expected/>
10. **S10** Australian Communications and Media Authority (ACMA), *Optus pays \$12 million penalty for Triple Zero outage*, 8 November 2024, referring to the 8 November 2023 outage. <https://www.acma.gov.au/articles/2024-11/optus-pays-12-million-penalty-triple-zero-outage>
11. **S11** Buldyrev, S. V., Parshani, R., Paul, G., Stanley, H. E., and Havlin, S., *Catastrophic Cascade of Failures in Interdependent Networks*, *Nature* 464 (2010), 1025–1028. DOI: 10.1038/nature08932. <https://www.nature.com/articles/nature08932>
12. **S12** Radicchi, F., and Bianconi, G., *Redundant Interdependencies Boost the Robustness of Multiplex Networks*, *Physical Review X* 7 (2017), 011013. DOI: 10.1103/PhysRevX.7.011013.
<https://journals.aps.org/prx/abstract/10.1103/PhysRevX.7.011013>
13. **S13** National Institute of Standards and Technology (NIST), *Developing Cyber-Resilient Systems: A Systems Security Engineering Approach*, SP 800-160 Vol. 2 Rev. 1, December 2021. DOI: 10.6028/NIST.SP.800-160v2r1. <https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/160/v2/r1/final>
14. **S14** Perrow, C., *Normal Accidents: Living with High-Risk Technologies*, updated edition, Princeton University Press, 1999. <https://www.jstor.org/stable/j.ctt7srgf>
15. **S15** Simon, H. A., *The Architecture of Complexity*, *Proceedings of the American Philosophical Society*, 106 (1962), 467–482; bibliographic and scholarly discussion at Santa Fe Institute Press. <https://www.sfi.press.org/21-simon-1962>
16. **S16** Reuters, *Iran has detailed plans to hit Gulf undersea cables if war resumes, officials say*, 23 October 2026; statements are conditional and unverified as future actions.
<https://www.reuters.com/world/middle-east/iran-has-detailed-plans-hit-gulf-undersea-cables-if-war-resumes-officials-say-2026-10-23/>