

Современные модели оценки и прогнозирования конкурентоспособности при разработке цифровых двойников сложных объектов

Подчуфаров А.Ю., Седов М.К., Аустер И.А., Ванина С.С., Галкина А.Н.

Содержание

1. Цифровой двойник как современный инструмент системной инженерии на основе методов моделирования (MBSE)
2. Особенности социально значимых объектов
 - 2.1. Структура факторов базовых целевых показателей
 - 2.2. Факторы эффективного взаимодействия пользователей
3. Модели управления базовыми целевыми показателями (КС)
4. Актуальные задачи оценки базовых целевых показателей (КС)

Характеристики цифрового двойника (ЦД)

ЦД – это **система цифровых моделей, связанных между собой и с объектом ЦД**, предназначенная для обеспечения **всестороннего эффективного взаимодействия** с объектом **на этапах его жизненного цикла** посредством предоставления с приемлемой точностью информации о его состоянии и поведении (в прошлом, настоящем, будущем)

Окончательно устоявшегося определения ЦД в профессиональном сообществе на сегодняшний день не сформировалось, что связано с различием в оценке требуемого состава функций, технологий и характеристик ЦД, классификации объектов ЦД, специфики предметных областей его разработки и функционирования

ГОСТ Р 57700.37-2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения»

Цифровой двойник изделия – система, состоящая из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием (при наличии изделия) и (или) его составными частями. Цифровой двойник разрабатывается и применяется на всех стадиях жизненного цикла изделия.

ГОСТ Р 58301-2018 «Управление данными об изделии. Электронный макет изделия. Общие требования»

Электронный макет изделия (ЭМИ): комплекс взаимосвязанных информационных наборов (ИН) разных видов (в т. ч. компьютерных моделей), отражающих или подтверждающих совокупность свойств изделия, важных для решения задач определенной стадии разработки или этапа ЖЦ.

Обзор рынка ЦД

Рынок цифровых двойников по регионам
(2016-2025 гг.), млрд долл. США



42-58% - темп роста рынка в течение прогнозируемого периода (2021-2028 гг.)

Наибольшая доля мирового рынка ЦД к 2027 г. будет приходиться на **Северную Америку** (ключевой игрок - США)

Структура и прогноз развития рынка ЦД
(2017-2028 гг.), млрд долларов США



Источник:
<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/digital-twin-market>

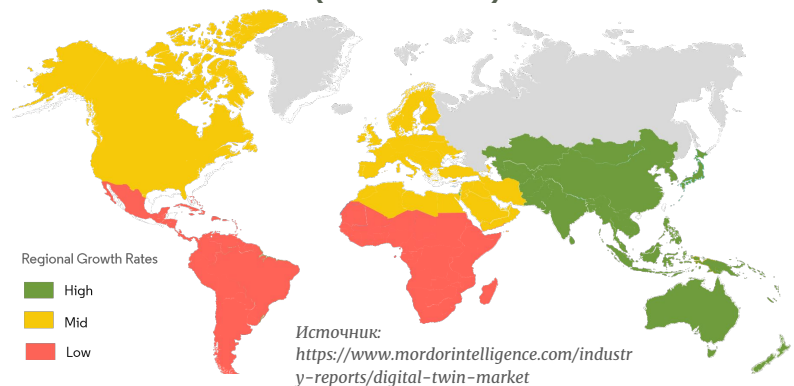
Участники рынка ЦД

Siemens	Altair
TIBCO Software	TwinThread
General Electric	Microsoft
Oracle	IBM
PTC	SAP

Цифровой двойник

Dassault	ANSYS
SIM-CI	Sight Machine
DNV GL	Infosys
PACCAR	Autodesk
Deloitte	Bsquare
Intellectsoft	...

Рынок цифровых двойников - темпы роста по регионам (2021-2026 гг.)



Размер мирового рынка цифровых двойников по регионам (2027 г.), %



Источник: <https://www.researchnester.com/reports/digital-twin-technology-market/839>

Применение ЦД в атомной энергетике

Анализ

Прогнозирование

Оптимизация



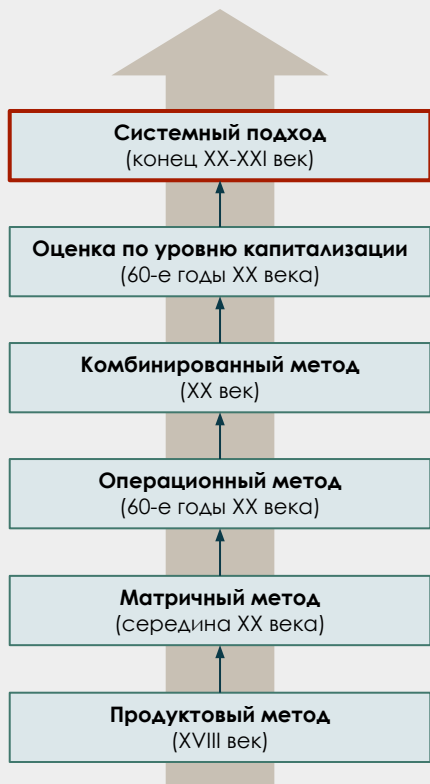
Внешние участники (агенты)

- Население
- Промышленность
- Государственные институты
- Международные организации

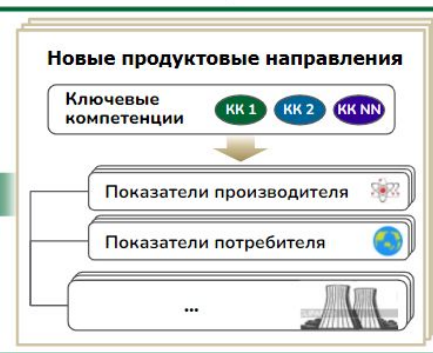
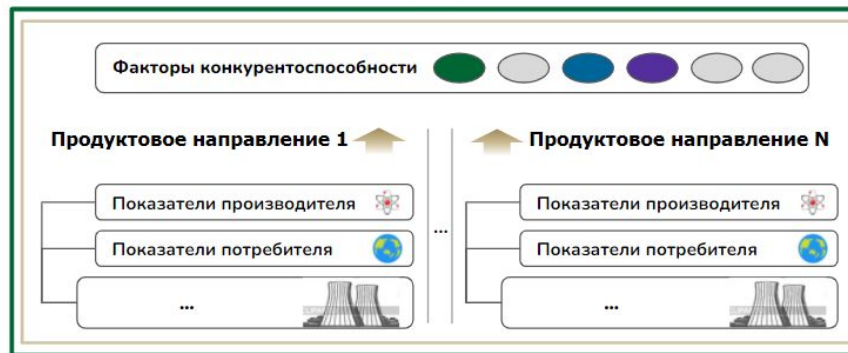
Внутренние участники (агенты)

- Проектные организации
- Конструкторские организации
- Эксплуатирующие организации
- Надзорные организации

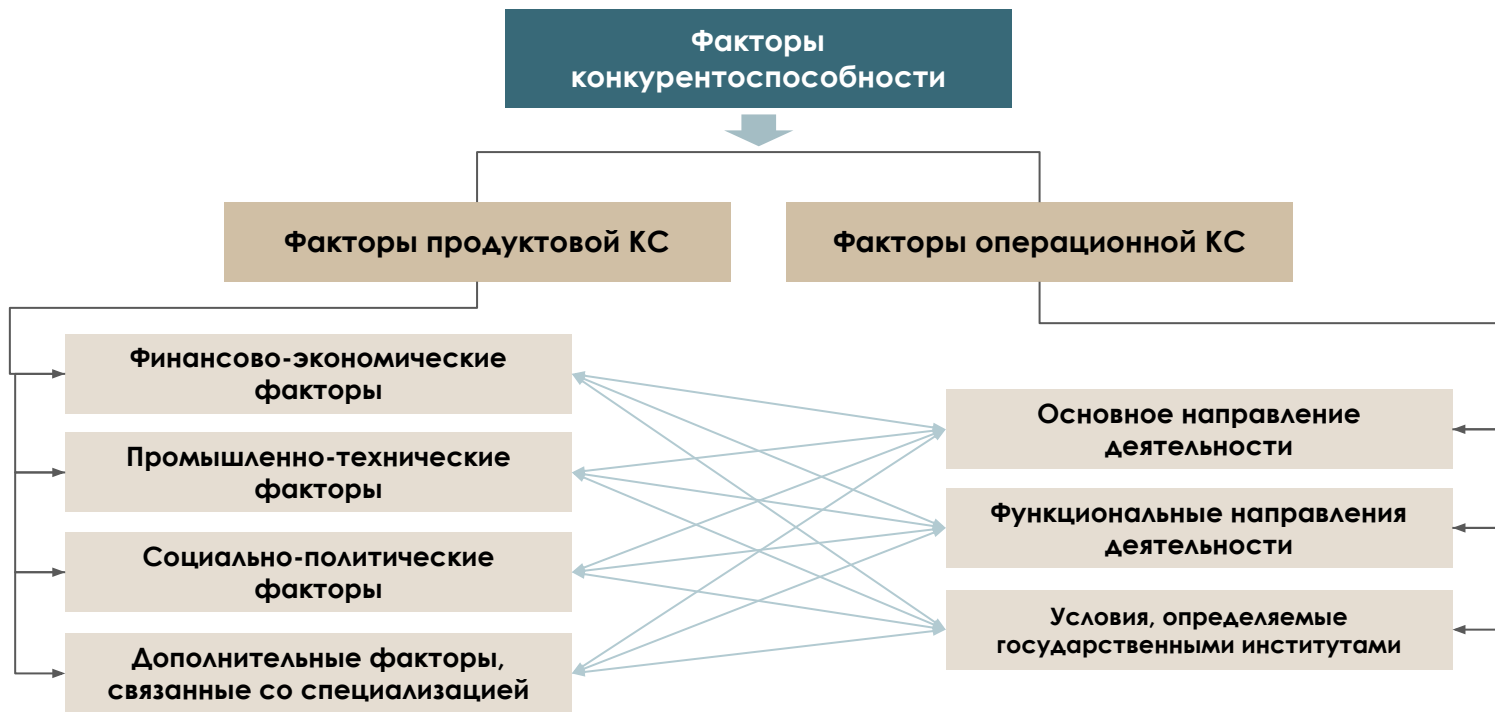
Оценка конкурентоспособности на основе МКК-подхода



Продуктовый портфель

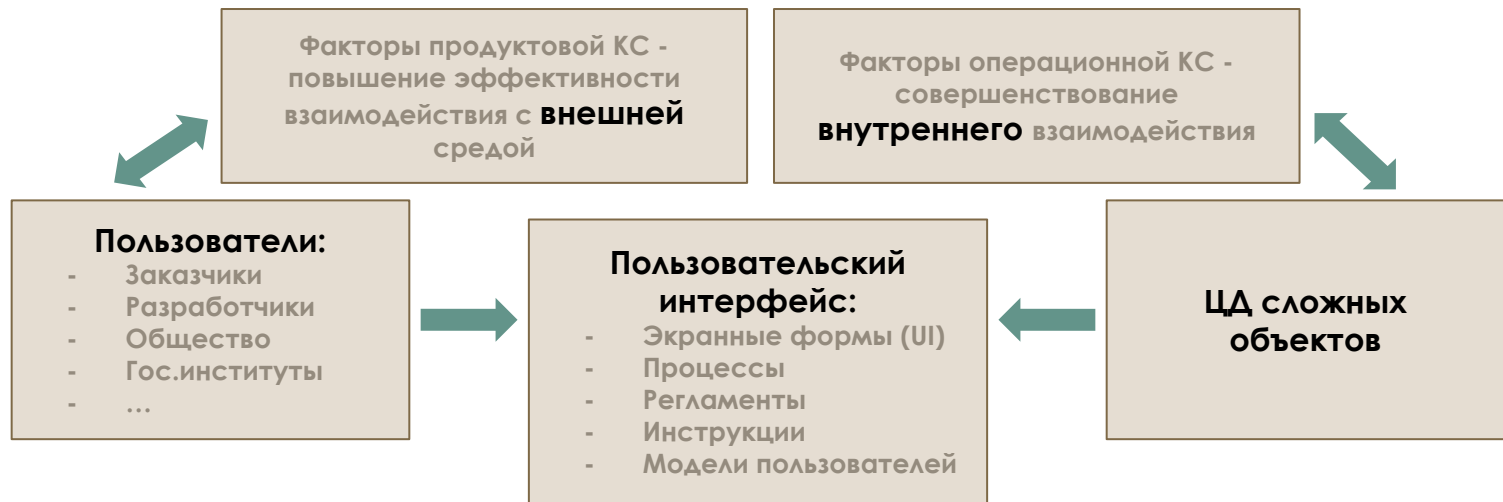


Структура факторов конкурентоспособности сложных объектов (вне зависимости от вида объекта)



Факторы эффективного взаимодействия пользователей ЦД

Для обеспечения и повышения **эффективности взаимодействия пользователей ЦД** сложных объектов применимы практики **дизайна пользовательского опыта** (user experience design), направленные на разработку пользовательских интерфейсов взаимодействия (user interface), обеспечивающих их удобство и эргономичность (usability)



Современные подходы к UX-дизайну

Практики **дизайна пользовательского опыта** основываются на принципах **когнитивной психологии** и включают в себя разработку **интерфейсных решений** в широком и в узком смысле:

- Интерфейс как **способы организации** и построения **эффективного взаимодействия** между пользователем, группами пользователей и цифровой системой
- Интерфейс как **совокупность программных** и **аппаратных средств**, представляющих из себя физическую оболочку для обеспечения эффективного взаимодействия

Этапы UX-дизайна для ЦД сложных объектов



Анализ пользователей в условиях специфики предметной области.
Учет требований пользователей и факторов КС, категоризация пользовательского опыта



Определение структуры системы взаимодействия.
Разработка интерфейса в широком смысле, паттерны и шаблоны для экранных форм

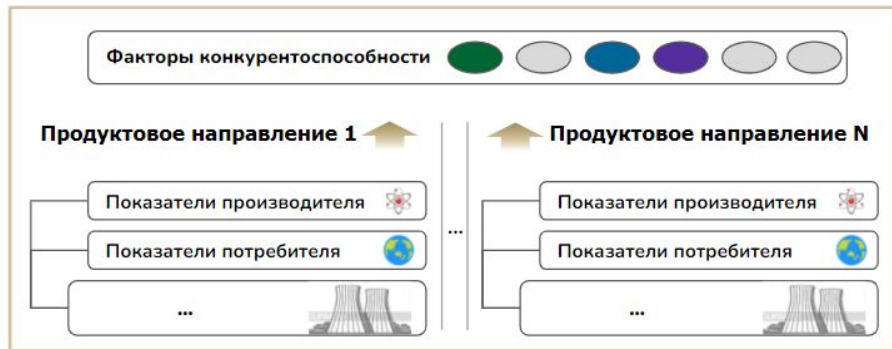


Детализация интерфейсных решений.
Разработка интерфейса в узком смысле, программ обучения пользователей, аналитических метрик



Проверка эффективности интерфейсных решений
Юзабилити-тестирование, обучение пользователей, выработка рекомендаций по совершенствованию интерфейсных пользователей

Оценка конкурентоспособности на основе МКК-подхода



$$\text{Контур 1: } \sum_{i=1}^m (РП_i - КС_i)^2 \rightarrow \min_{ПЗ}$$

$$\text{Контур 2: } \sum_{i=1}^m (РП_i - КС_i)^2 \rightarrow \min_{ПЗ}$$

Взаимосвязь контуров:

Коэффициенты согласованности и вовлеченности

n факторов, m конкурентов

$СП_1^1, \dots, СП_m^n$ - сравнительные показатели факторов конкурентов (известны)

$ПЗ^1, \dots, ПЗ^n$ - показатели значимости факторов (неизвестны или требуют верификации)

$КС_1, \dots, КС_m$ - конкурентоспособности конкурентов, где:

$$КС_i = \prod_{j=1}^n (1 - (1 - СП_i^j) * ПЗ^j) \text{ (упрощенная формула)}$$

$РП_1, \dots, РП_m$ - рыночные положения конкурентов

Задача - найти $ПЗ$, наилучшим образом отражающие ситуацию на рынке:

$$\sum_{i=1}^m (РП_i - КС_i)^2 \rightarrow \min_{ПЗ}$$

Особенности задачи оценки БЦП (КС) сложных систем



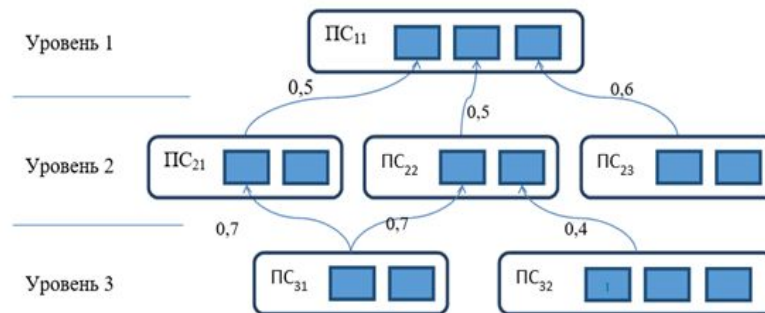
Неполнота информации

❖ Неполнота внешней информации (СП)

- Декомпозиция факторов
- Бифуркационный анализ
- Мягкое моделирование

❖ Неполнота внутренней информации (ПЗ)

- Бифуркационный анализ и мягкое моделирование
- Методы многокритериальной оптимизации
 - Построение Парето-оптимального множества
 - Методы SMART, SMARTS, SMARTER
 - Метод анализа иерархий
 - Метод последовательных уступок
 - Метод равноценных замен
 - Метод целевого программирования и др.



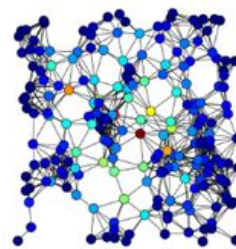
Experience	A	B	C	D	E	F
A	1	9	5	7	9	9
B	1/9	1	1/9	1/7	2	2
C	1/5	9	1	5	9	9
D	1/7	1/7	1/5	1	7	7
E	1/9	1/2	1/9	1/7	1	1
F	1/9	1/2	1/9	1/7	1	1
Av. Geom.	5.42	0.44	3	0.76	0.32	0.32
W	0.53	0.04	0.29	0.07	0.03	0.03

Popularity	A	B	C	D	E	F
A	1	3	3	1	1	9
B	1/3	1	1	1/3	1/3	7
C	1/3	1	1	1/3	1/3	7
D	1	3	3	1	1	9
E	1	3	3	1	1	9
F	1/9	1/7	1/7	1/9	1/9	1
Av. Geom.	2.08	0.8	0.8	2.08	2.08	0.17
W	0.26	0.1	0.1	0.26	0.26	0.02

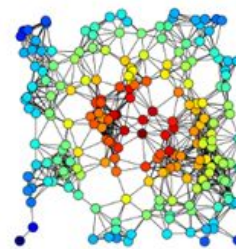
Взаимное влияние факторов

- ❖ Сетевой анализ
- ❖ Построение задачи условной оптимизации

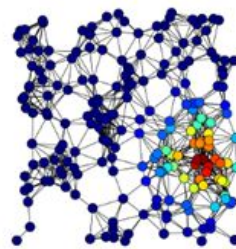
$$\left\{ \begin{array}{l} x = (x_1, \dots, x_n) - \text{факторы} \\ f(x) \rightarrow \max \\ a_i(x) \leq b_i, i = \overline{1 \dots m} - \text{зависимости факторов} \end{array} \right.$$



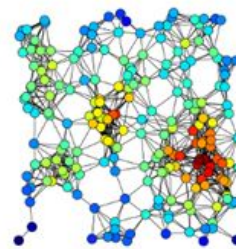
A



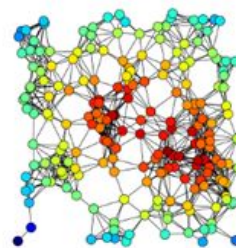
B



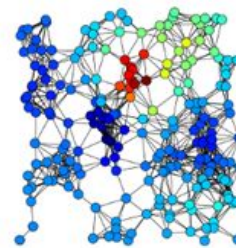
C



D



E



F

Выводы

1. Современное состояние информационной среды и аналитических алгоритмов предоставляет **широкий набор инструментов для всестороннего анализа и оптимизации** разработки и функционирования сложных социально значимых объектов.
2. Практика **реализации ЦД** подтверждает **эффективность их внедрения**, а также позволяет прогнозировать ее существенный рост в ближайшие годы.
3. Значимый вклад в **обеспечение эффективности** сложных объектов может быть обеспечен за счет внедрения современных практик **дизайна пользовательского опыта** и методов **агентно-ориентированного моделирования**.
4. Можно выделить следующие **направления совершенствования расчетных алгоритмов БЦП (КС)**, предопределяющие существенное повышение точности и обоснованности оценок:
 - оценка внешней неопределенности (проблема оценки показателей факторов)
 - оценка внутренней неопределенности (проблема оценки значимости факторов)
 - оценка взаимного влияния факторов
 - задача оптимизации требований к показателям факторов в условиях ограничений

Спасибо за внимание!

Современные модели оценки и прогнозирования конкурентоспособности при разработке цифровых двойников сложных объектов

Подчуфаров А.Ю., Седов М.К., Аустер И.А., Ванина С.С., Галкина А.Н.

Базовая кафедра ВО «Автопромимпорт»
«Международная конкурентоспособность»
avtopromimport@hse.ru

17.12.2021