



**УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ
КРУПНОМАСШТАБНЫХ СИСТЕМ**

**33 лаборатория крупномасштабных систем
Дранко Олег Иванович, д.т.н., ИПУ РАН, drankooi@ipu.ru**

21 апреля 2025 г., Москва, Россия



Крупномасштабные системы

Крупномасштабные системы – это класс сложных (больших) систем, характеризующихся комплексным (межотраслевым, межрегиональным) взаимодействием элементов, распределенных на значительной территории, требующих для развития существенных затрат ресурсов и времени.

Типичные примеры крупномасштабных систем: топливно-энергетический комплекс и отдельные его отрасли, транспортные, аграрно-промышленные, территориально-промышленные, региональные и отраслевые системы, холдинги, концерны, финансово-промышленные группы, транснациональные корпорации, распределенные системы передачи и обработки информации и другие комплексы.

Основные особенности крупномасштабных систем:

- Значительные затраты ресурсов и времени на развитие систем;
- Размытость границ;
- Тесная взаимосвязь с другими крупномасштабными системами и с окружающей средой;
- Комплексный характер управления.



Модели управления развитием крупномасштабной системы

включают:

- модели основных критериев развития;
- модели производственной, технологической, транспортной социальной и экономической структуры системы;
- модели использования (оптимизации) ресурсов;
- модели организационно-функциональной (управленческой) структуры системы.

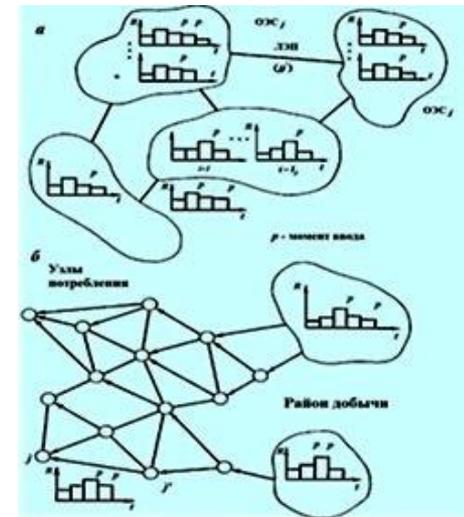
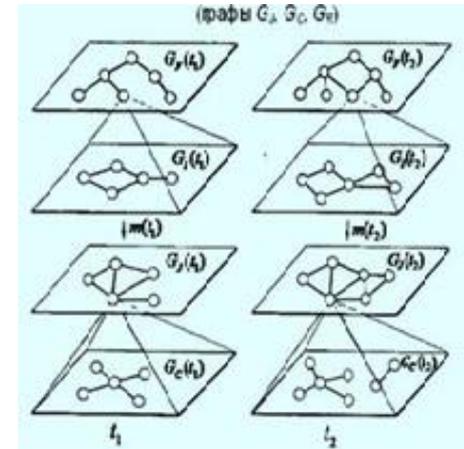
Задачи управления развитием крупномасштабных систем состоят в выборе (по этапам развития системы) состава, взаимосвязей и вариантов развития элементов различных типов, согласованных между собой во времени, с учетом технологии производственных и управленческих задач, ограничений на ресурсы, потребляемые в процессе развития, внешних требований к структурным характеристикам системы, обеспечивающим наиболее эффективное удовлетворение потребностей в "продукте", производимом системой, с учетом сроков окупаемости, внутренней нормы прибыли, ликвидности, рентабельности и др.

Для крупномасштабных систем невозможно представить все их свойства и особенности на одном уровне детализации. Поэтому такие системы рассматриваются как **взаимосвязанная иерархия элементов**, охватывающая различные уровни детализации и стадии развития производственной и транспортной инфраструктуры.

Учет динамики развития элементов требует совместного использования оптимизационных и имитационных моделей, итеративных процедур выбора рациональных вариантов развития системы.

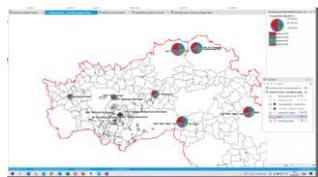
В ИПУ разработаны:

- методология построения комплексов взаимосвязанных оптимизационно-имитационных моделей планирования развития и функционирования крупномасштабных систем на уровне предприятий и групп предприятий, итеративные процедуры планирования развития крупномасштабных систем;
- агрегативно - декомпозиционный подход проектирования структур сложных (крупномасштабных) систем;

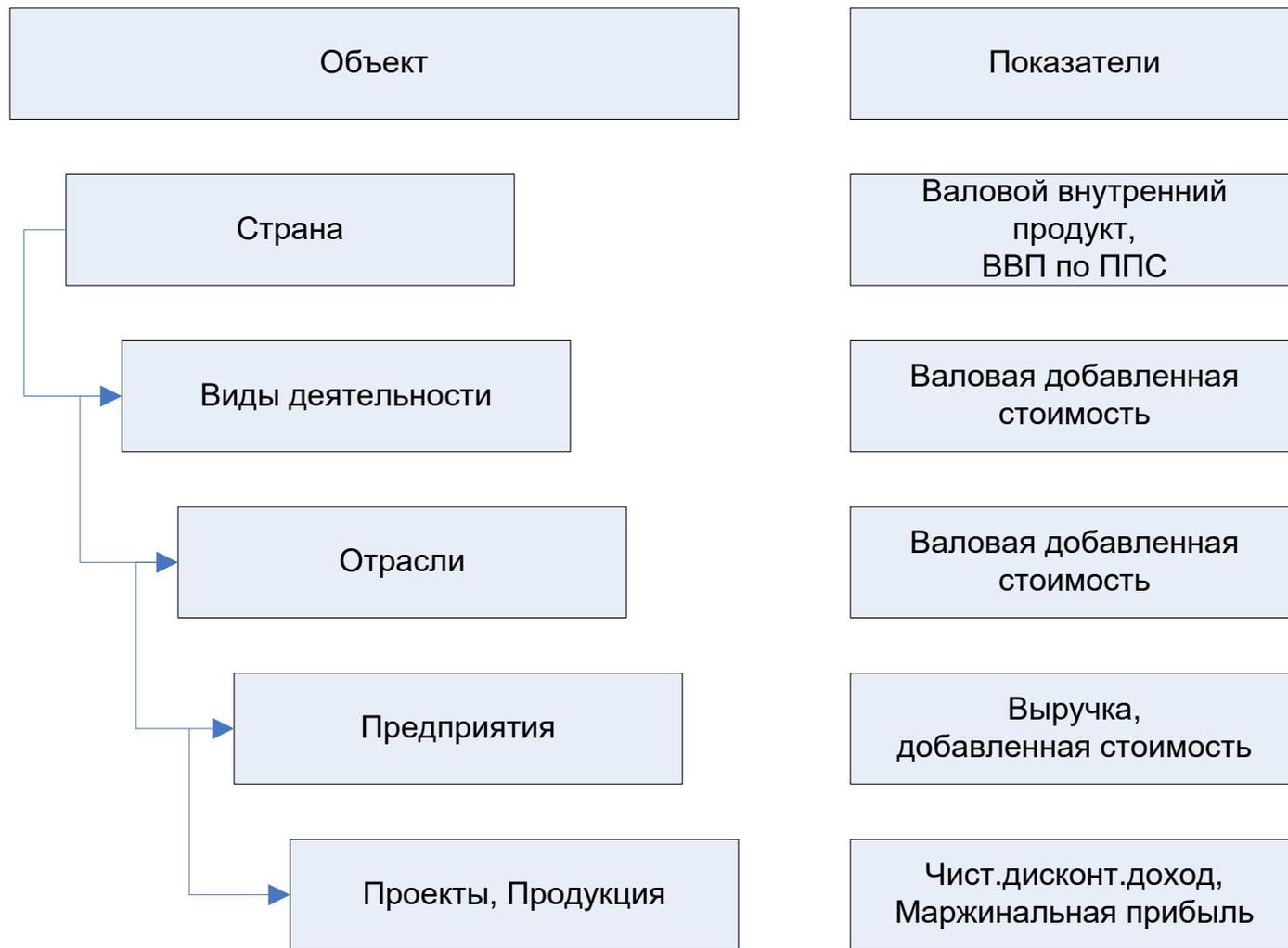




Индикаторы социально-экономического развития в многоуровневой системе

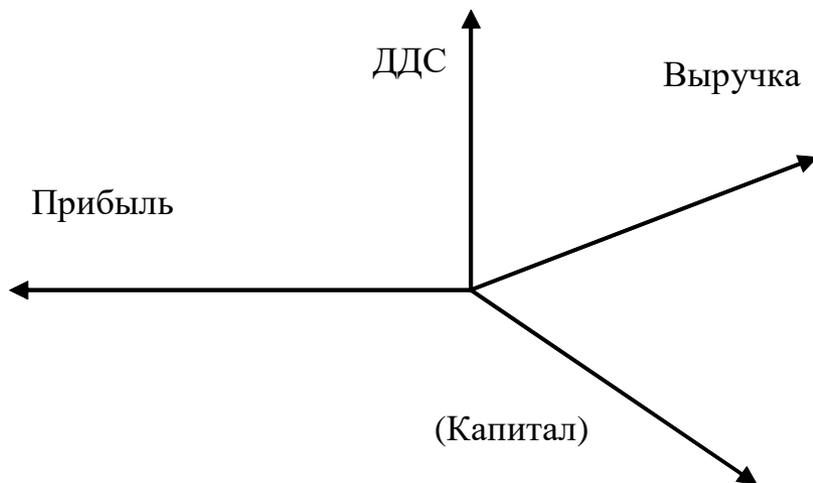


M4-1. Новая продукция





Какой критерий важнее?



Есть универсальный ответ?

- Коммерческая служба – **выручка**
- Компания в кризисе, страп – **Денежный поток**
- Стабильная компания – **прибыль**
- Долгосрочно развивающаяся компания – **Стоимость бизнеса**

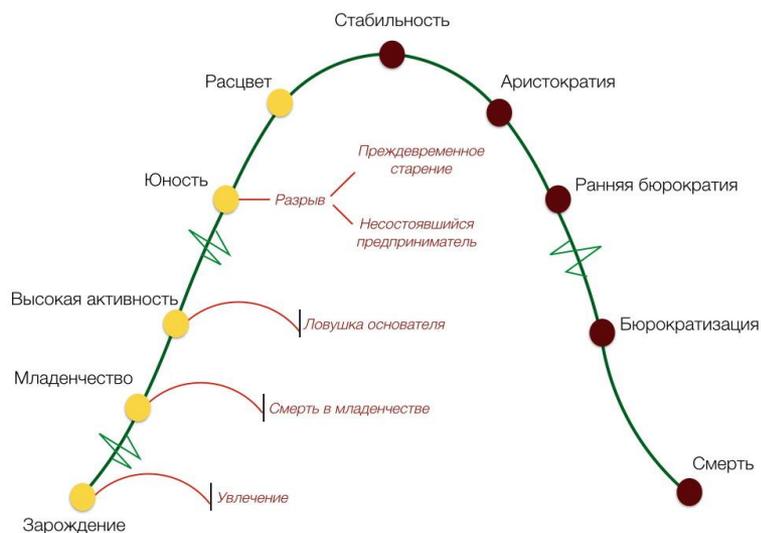


Схема жизненного цикла (по И. Адизесу)

Источник:

https://www.researchgate.net/publication/274256469_Coming_From_the_Heart_The_Road_is_Long, available 10.11.2024



Модель системной оптимизации

$$\lambda \rightarrow \max$$

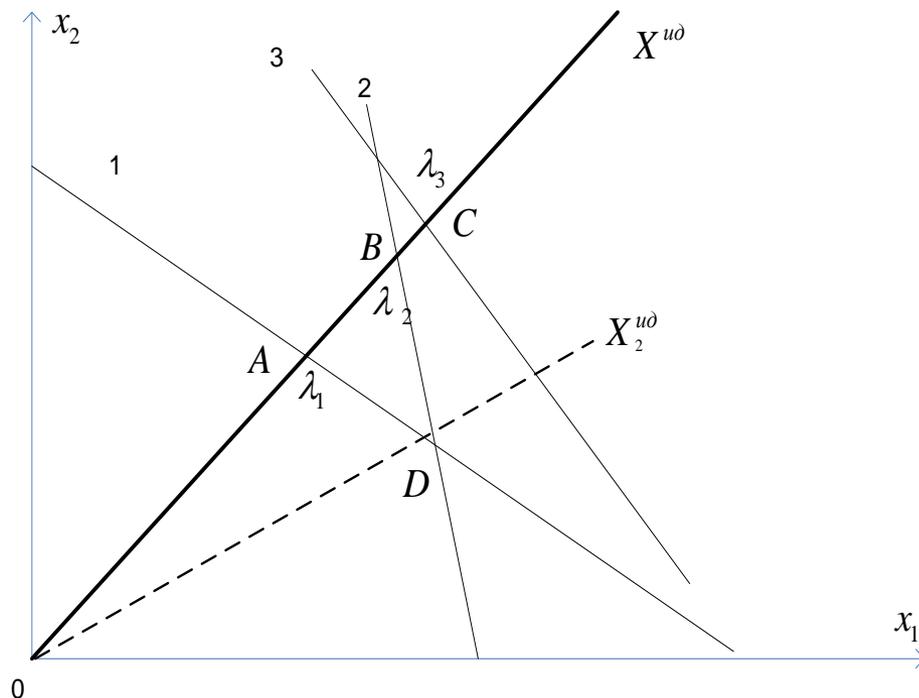
$$x = \lambda x^{уд}$$

$$x \in X^0$$

$$Ax \leq B$$

$$\lambda^* = \min \{ \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n \}$$

$$\lambda_j = \frac{B_j^0}{B_j^{уд}} = \frac{B_j^0}{\sum_{i=1}^n a_{i,j} x_i^{уд}}, \quad j = 1, \dots, n$$



Пример для двух переменных x_1 , x_2 и трех ресурсов.

Линия «0 – $X^{уд}$ » показывает целевую траекторию в линейном виде.

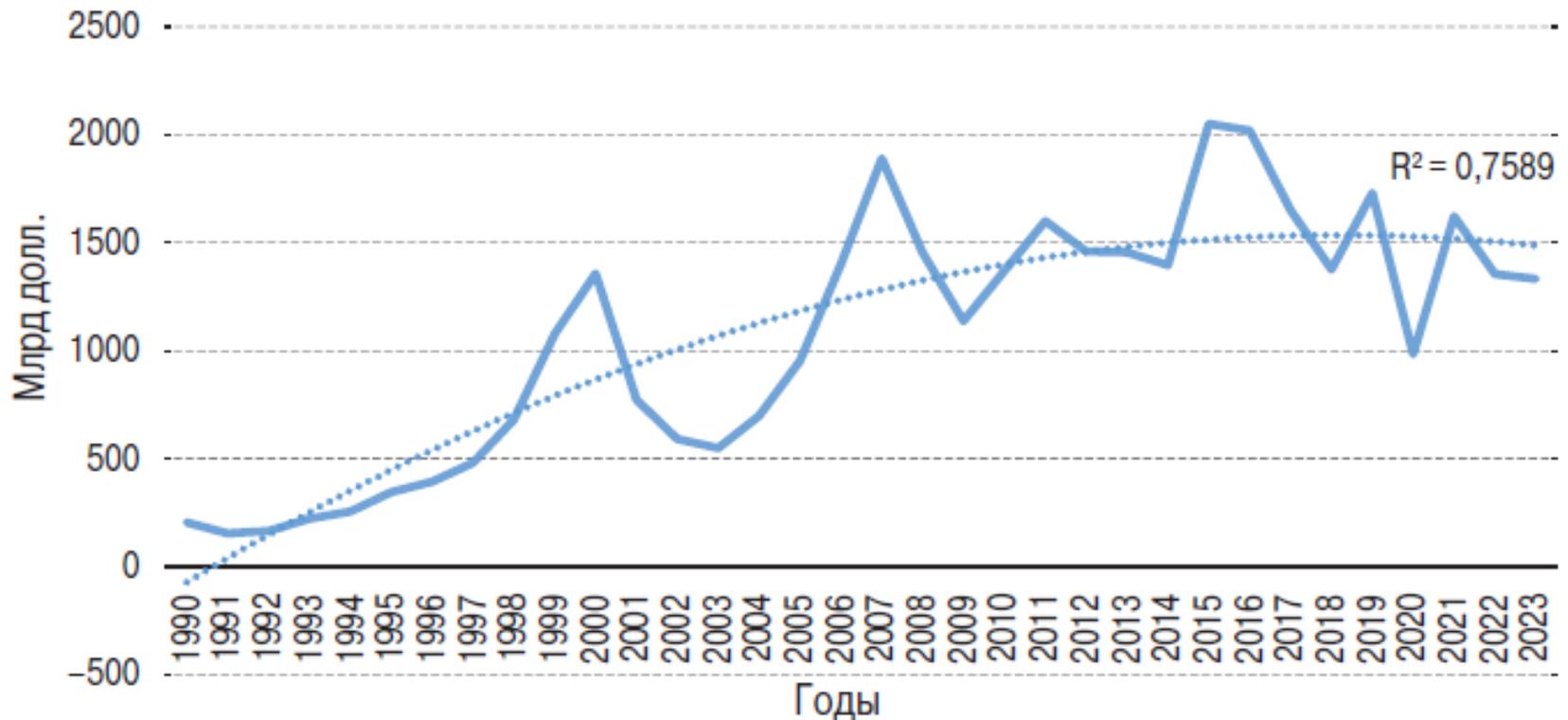
Первое ресурсное ограничение пересекает траекторию в точке А, с долей достижения цели λ_1 .

Аналогично определяются точки В и С с долями достижения цели λ_2 , λ_3 .

Сдерживающим фактором является первое ограничение λ_1 в точке А.

Здесь λ – степень достижения целевого значения точки идеала, x – целевые показатели, хид – точка идеала, X^0 – множество допустимых значений, А – матрица удельных показателей, В – вектор имеющихся ресурсов (ограничений), B_j^0 – наличие ресурса j-того вида, $B_j^{уд}$ – потребность в ресурсах j-того вида в точке идеала, $a_{i,j}$ – удельный показатель расхода ресурса, j – индекс ресурсов, i – индекс показателей

Динамика мировых ПИИ, млрд долл.



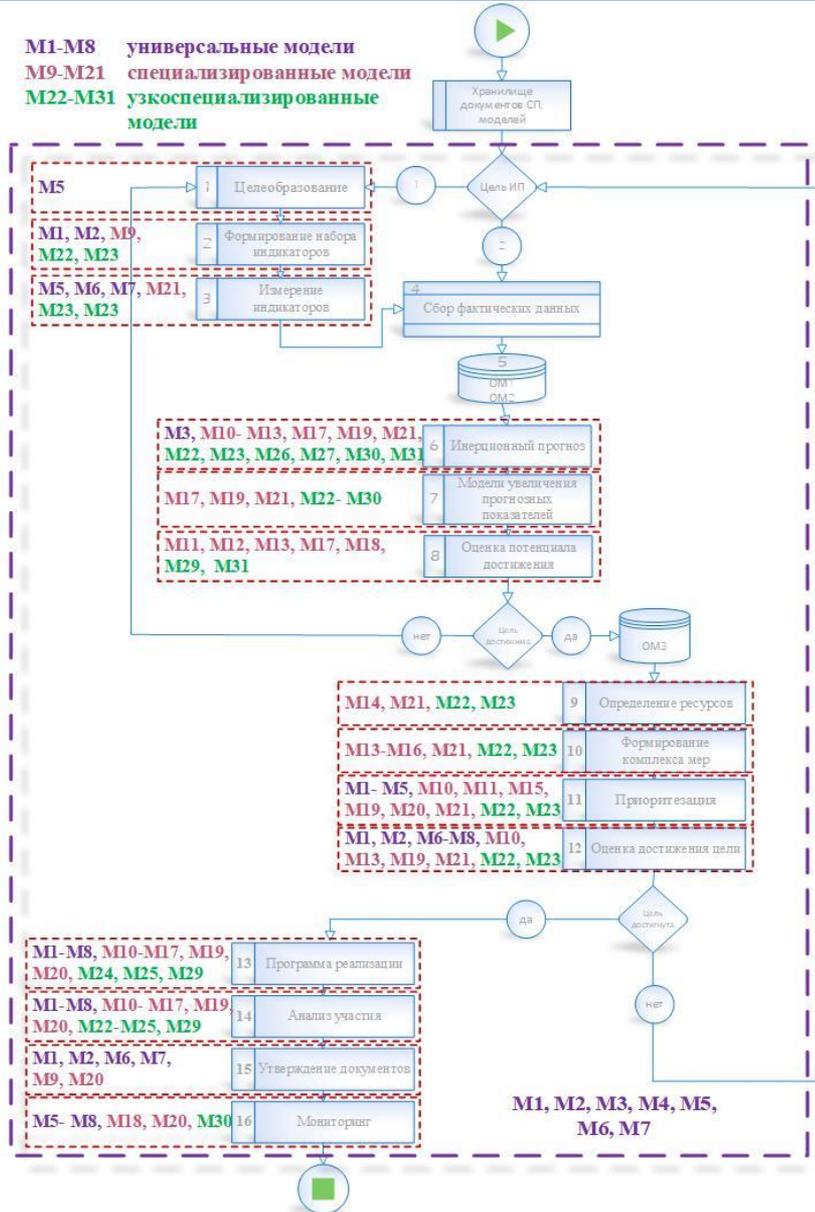
Источник: World Investment Report 2022:212

Варнавский В.Г. Мировая экономика: драйверы, тренды, перспективы – М.: Весь Мир, 2025 – 416 с.



Анализ «СВЕРХУ – ВНИЗ» и «СНИЗУ-ВВЕРХ»

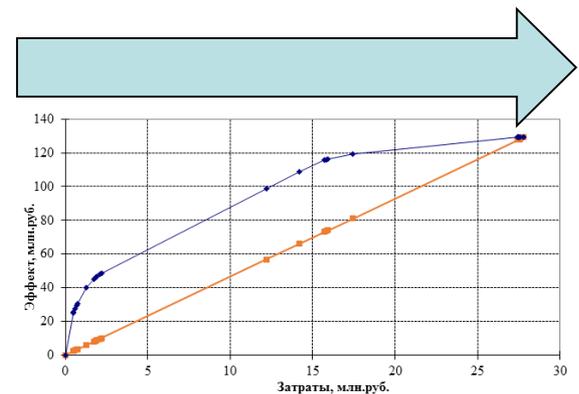
M1-M8 универсальные модели
M9-M21 специализированные модели
M22-M31 узкоспециализированные модели



Оценка достижимости
 «от ресурсов к целям»

Ресурсы
 Мероприятия
 Индикаторы
 Задачи
 Цели

Рациональная оптимизация
 Выбор приоритетных мероприятий)



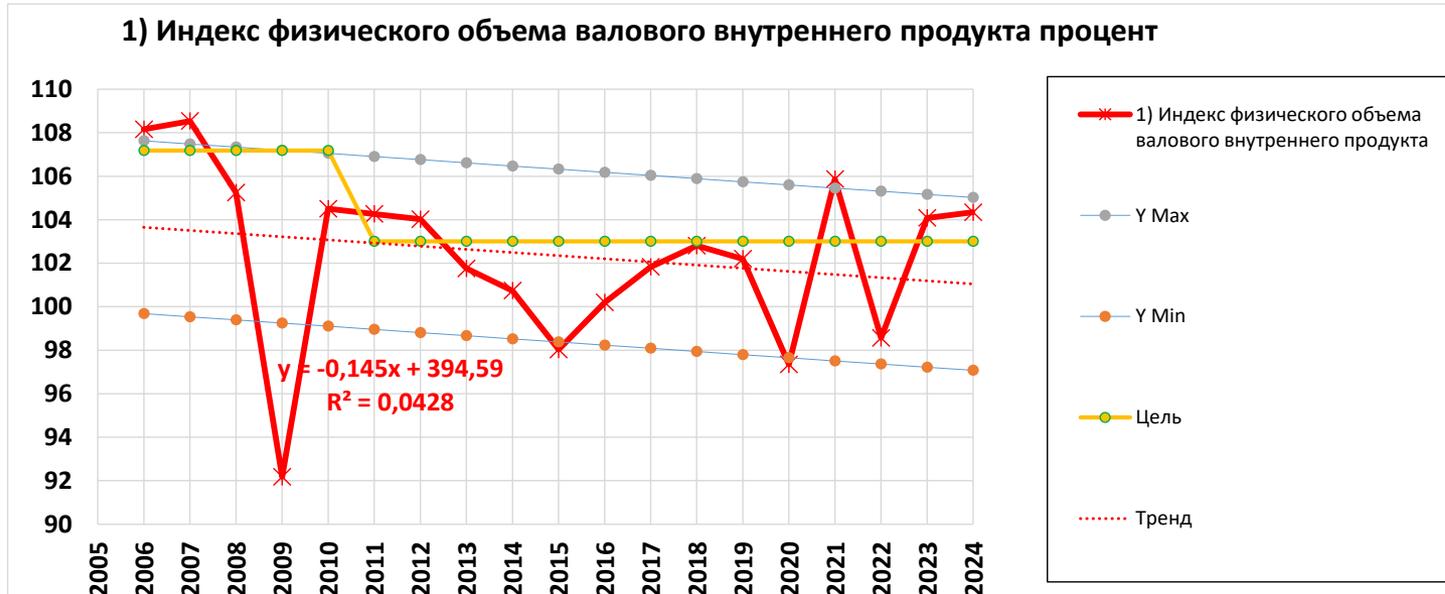


Модели индикативного планирования

Универсальные модели	Специализированные модели	Узкоспециализированные модели
M1) Модель(и) агрегирования индикатора: валового, удельного M2) Модель(и) декомпозиции индикатора: валового, удельного M3) Эконометрические модели: интерполяция, экстраполяция M4) Модели идентификации параметров M5) Модель определения аналитических признаков индикаторов M6) Модель взвешенного оценивания набора индикаторов M7) Модель комплексного оценивания набора индикаторов M8) Модель классификации отклонений фактических и плановых значений скалярного индикатора	M9) Модель «Цели – задачи – индикаторы» M10) Модели оценки достижения целевых показателей M11) Модель выбора приоритетных проектов M12) Модель оценки потенциала развития M13) Модель проекта (мероприятия, программы), вклада в целевые показатели и потребности в ресурсах M14) Модели ресурсной обеспеченности M15) Модели анализа и выбора альтернатив M16) Модели оптимального выбора M17) Модели системной динамики M18) Анализ и управление рисками M19) Модель оценки достижения целей в двухуровневой системе M20) Векторная стратификация многопараметрических объектов M21) Гибридные модели	M22) Модели регионального развития M23) Модели отраслевого развития M24) Модель развития госкорпорации M25) Модель оценки финансовой устойчивости госкорпорации M26) Однопродуктовая модель роста ВВП M27) Многопродуктовая модель роста ВВП M28) Модель балансировки многоотраслевой экономики M29) Модели механизмов влияния технологического развития на социально-экономическое развитие M30) Модели с использованием искусственного интеллекта M31) Модели на когнитивных картах



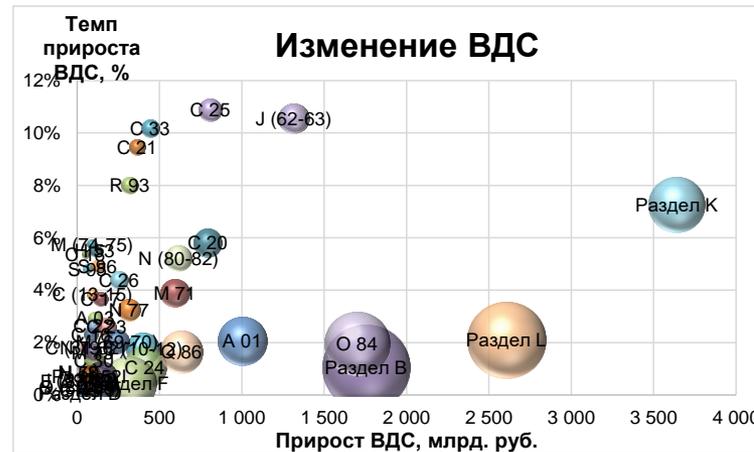
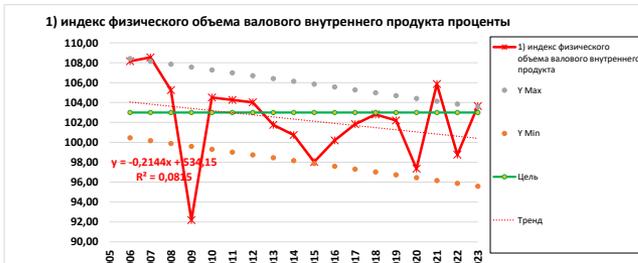
Некоторые характеристики показателей экономической безопасности



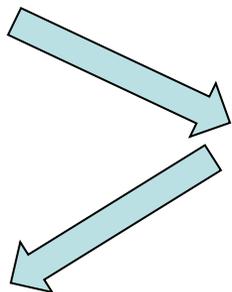
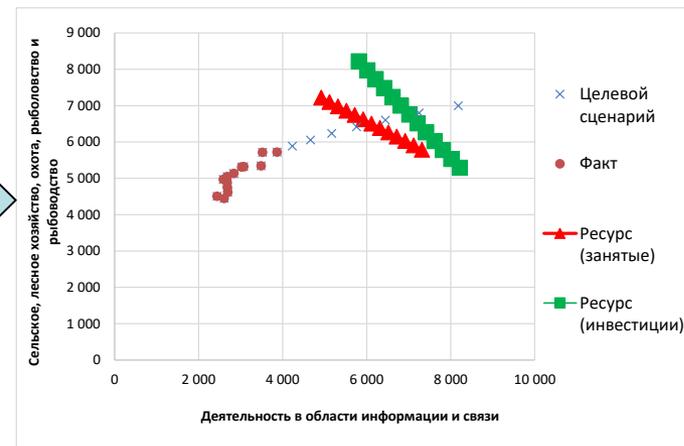
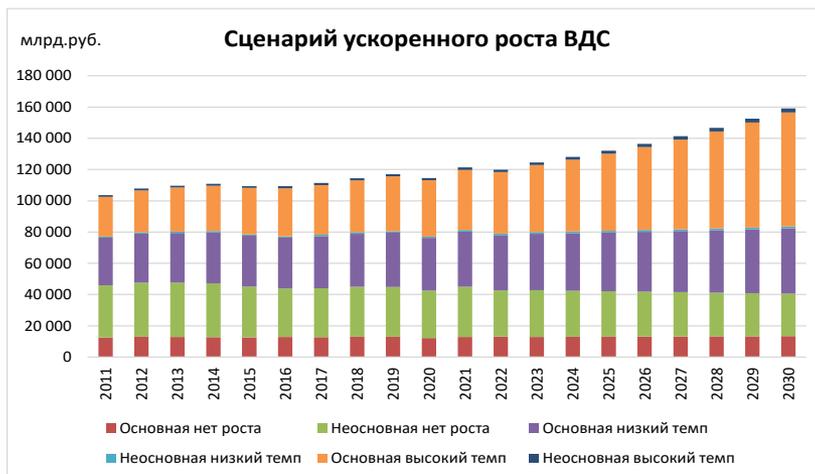
Показатели экономической безопасности	Рост / Падение	Тренд	Стабильность	Прогнозируемость
1) Индекс физического объема валового внутреннего продукта	Падение	Негатив	Нестабильный	Непрогнозируемый
2) Валовой внутренний продукт на душу населения	Рост	Позитив	Очень стабильный	Прогнозируемый.
5) Степень износа основных фондов	Падение	Позитив	Нестабильный	Непрогнозируемый
6) Индекс промышленного производства	Рост	Позитив	Нестабильный	Непрогнозируемый
7) Индекс производительности труда	Падение	Негатив	Нестабильный	Непрогнозируемый
9) Уровень инфляции	Падение	Позитив	Нестабильный	Непрогнозируемый



Модель оценки достижения целей в двухуровневой системе

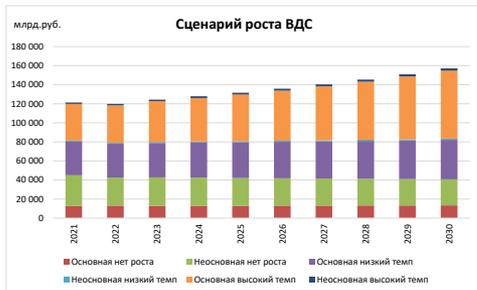


1. Декомпозиция ВВП на отраслевой уровень.
2. Выделение категорий отраслей по размеру и перспективам роста.
3. Ускоренное развитие растущих и крупных отраслей.





Модель оценки достижения целей в двухуровневой системе



Наименование	ОКВЭД	Мощь	БАЛАНС (актив), 2024	Выручка, 2023	Выручка, 2024	Чистая прибыль (убыток), 2023	Чистая прибыль (убыток), 2024
ИТОГО, по 53 организациям	53 орган	2 615 464 629	2 800 986 540	1 681 695 064	2 386 619 498	121 403 031	142 689 076
ООО "ЯНДЕКС"	62.01	467 894 605	565 464 722	421 987 321	544 581 317	-58 454 216	-11 681 168
ООО "ВК" (ООО "МЭЙЛ.РУ")	63.11.1	364 976 100	376 069 287	66 029 900	90 017 552	-27 710 810	-49 917 485
ООО "ЯНДЕКС.ТЕХНОЛОГИИ"	62.01	186 213 448	205 259 974	72 462 340	107 542 235	7 472 342	-7 593 219
ООО "ЯНДЕКС.ТАКСИ"	62.01	154 095 813	189 995 232	149 598 251	195 932 876	31 879 593	51 369 445
ООО "ГК "ИННОТЕХ"	62.01	126 899 458	200 239 214	101 767 112	119 696 911	72 706 546	54 273 202
ООО "В КОНТАКТЕ"	63.11.1	113 261 926	164 069 867	56 740 054	69 290 155	9 511 927	7 834 623
ООО "ЯНДЕКС ХОСТИНГ"	63.11	93 050 359	162 543 952	29 194 440	50 388 922	3 645 255	6 837 023
АО "ЛАБОРАТОРИЯ КАСПЕРСКОГО"	62.01	64 654 247	71 504 790	47 735 577	55 935 572	10 629 248	7 407 875
ООО "ЛУКОЙЛ-ТЕХНОЛОГИИ"	63.11.1	55 275 426	78 281 948	19 073 459	25 408 636	529 608	802 370
ООО "АЛИБАБА.КОМ (РУ)"	62.09	53 738 671	52 969 829	10 450 594	12 533 649	10 017 217	1 682 590
ООО "ГАЗИНФОРМСЕРВИС"	62.09	51 051 089	33 856 518	35 985 496	33 327 264	12 637 752	6 716 881
АО "ЦИФРОВЫЕ ЗАКУПОЧНЫЕ СЕРВИСЫ"	62.01	49 078 525	86 399 088	48 158 658	108 332 067	1 000 371	2 011 807



1. Декомпозиция отрасли на предприятия (выборка из БД отчетов 3 млн. организаций).
2. Выделение категорий предприятий по размеру и перспективам роста.
3. Ускоренное развитие растущих и крупных предприятий.



Математическая модель «ВВП – ВДС отрасли – ДС предприятия – выручка предприятия»

$$\Delta GDP \rightarrow \max$$

$$GDP(T) = \sum_j VA_j(T) + VA_0(T)$$

$$GDP(T) = \sum_j VA_j(0) \prod_{t=1}^T (1 + g_j(t))(1 + u_j(t)) + VA_0(T)$$

$$VA_j = \sum_i VA_{ji} = \sum_i k_{VA,ji} R_{ji} = k_{VA,j} R_j + \varepsilon_j$$

$$r_{VA,j}(t) = (1 + g_j(t))(1 + u_j(t)) - 1$$

$$VA_j = \sum_i VA_{ji} = \sum_i k_{VA,ji} R_{ji} = k_{VA,j} R_j + \varepsilon_j$$

Здесь GDP – валовой национальный продукт (ВВП, Gross Domestic Product), VA – валовая добавленная стоимость. VA_0 – чистые налоги на продукты VA_{ji} – добавленная стоимость отдельного предприятия, i – индекс предприятия, j – индекс отрасли, l – индекс региона, $r_{VA,i}$ – темп прироста добавленной стоимости отрасли, R – выручка, $k_{VA,j}$ – коэффициент добавленной стоимости в выручке, ε – погрешность, T – период анализа.



Модели и методы повышения эффективности промышленных предприятий

Многоуровневая модель прогноза состояния организации:

$$B(t+1)^F = F(B(t), x(t), U(t), Z(t))$$

$$x(t) \in X(t), Z(t) \leq Z^H(t)$$

где B – вектор компонент фин.-эк. состояния, x – параметры, U – управление, Z – затраты на управление.

Критерий управления $K_i \rightarrow \max, i \in \{S, NI, CF, EV\}$

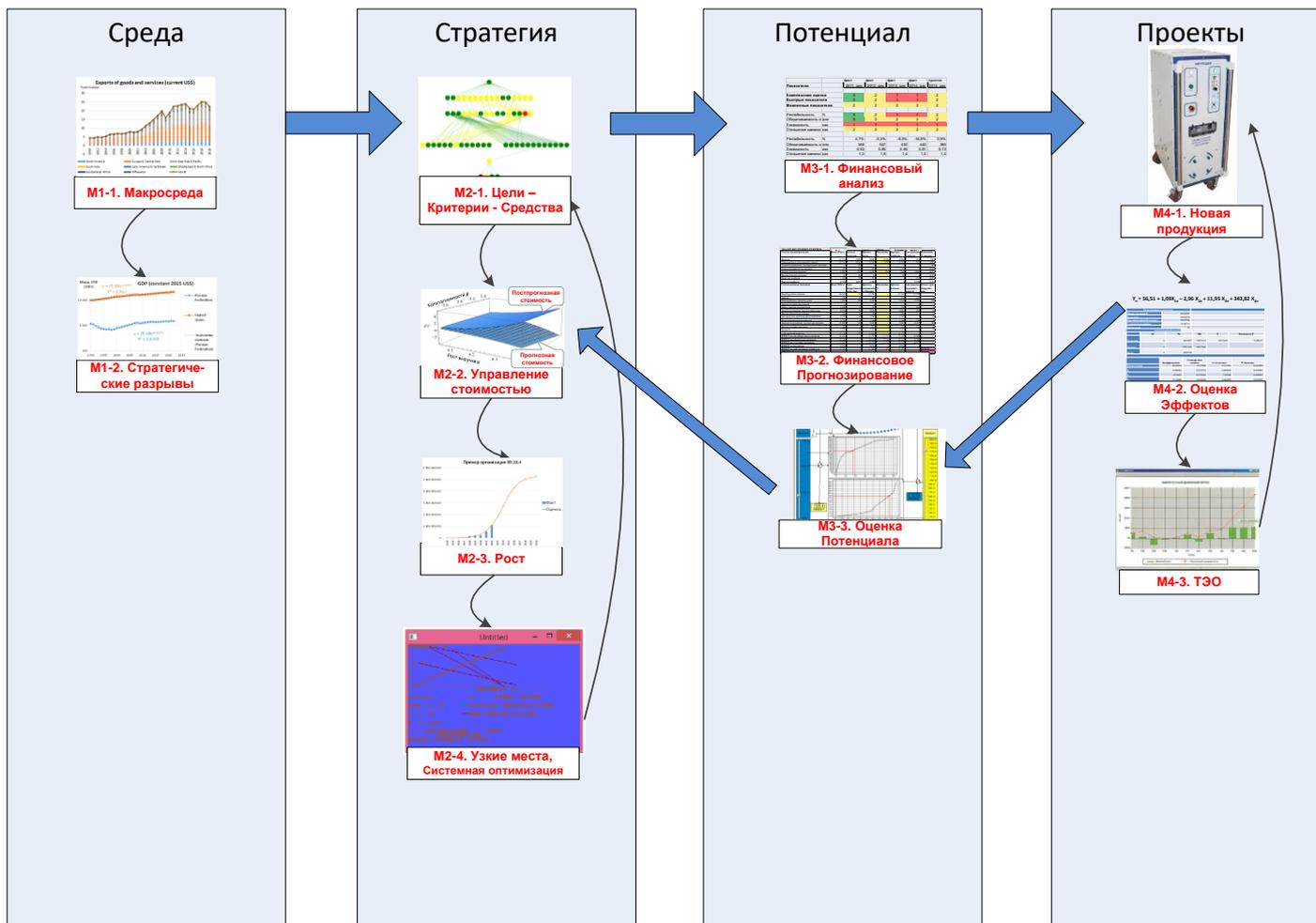
Управление – проекты развития, приводящие к изменению параметров $\{R_j\} = \{\Delta x_i(t), z_i(t)\}$

Оценка влияния $\Delta x_i(t)$ – результат совокупности экспертных методов и агрегирования проектов изменений.

Решение – комплекс имитационных и оптимизационных процедур.

Предприятие ВПК: модель достижимости целей

Проект 2017-2019 гг.
Тек. доходы: ~100 млрд. руб.





Аналитические модели для управления по критерию стоимости развитых предприятий

Критерий управления:
максимизация стоимости

$$EV = \sum_{t=1}^{\infty} \frac{FCF_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=1}^N \frac{FCF_t}{(1+r)^t} + \sum_{t=N+1}^{\infty} \frac{FCF_t}{(1+r)^t} \rightarrow \max$$

Модель стоимости на основе
дисконтированных денежных потоков

$$EV = \sum_{t=1}^N \frac{(m_t - a_t s_t) S_0 \prod_{j=1}^t (1+s_j)}{(1+r)^t} + \frac{(m_{N+1} - a_{N+1} g)(1+g) S_0 \prod_{j=1}^N (1+s_j)}{(r-g)(1+r)^N}$$

Двухпериодная аналитическая модель стоимости при
постоянных параметрах m, s, a, r, g

$$EV = S_0 (1+s) \left(\left(\frac{1+s}{1+r} \right)^N \frac{(s-g)(m-ar)}{(r-g)(s-r)} - \frac{m-as}{s-r} \right)$$

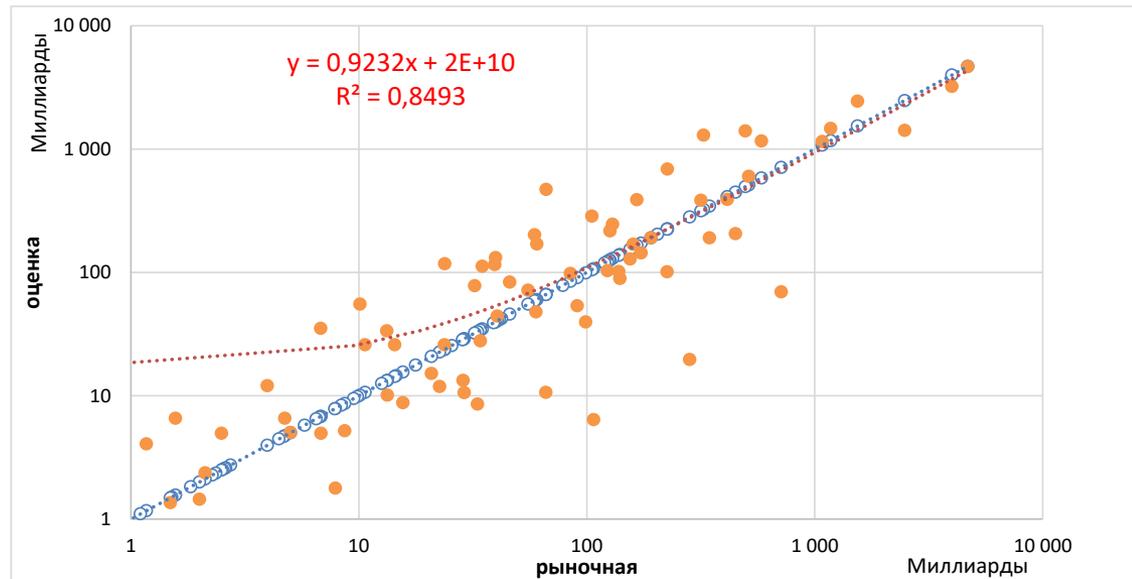
где EV – стоимость предприятия, FCF – денежный поток для оценки стоимости,
 S – выручка, s – темп роста выручки, m – прибыльность, a – капиталоемкость, r – ставка
дисконтирования, N – длительность прогнозного периода, g – постпрогнозный рост.



Аналитические модели для управления по критерию стоимости развитых предприятий: достоверность модели

- Проведена оценка стоимости по дисконтированным денежным потокам.
- Из 150 компаний фондового рынка с открытыми данными были выделены 40 зрелых компаний по разным параметрам их роста.
- Показано совпадение оценок и фактических данных с точностью 8%.

Распределение рыночной стоимости компаний и модельных оценок. Расчеты по данным 2023 г.



- /// Линия тренда – "Фактическая стоимость = Оценка"
- Полученная оценка стоимостей компаний



Результаты исследования аналитической модели для управления по критерию стоимости развитых предприятий

Параметр	Направление	Условие
Прибыльность	$m \rightarrow \max$	традиционно
Капиталоемкость (и основной, и оборотный капитал)	$a \rightarrow \min$	не все смотрят
Рост выручки	$s \rightarrow \max$	но при $m > a r$.
Ставка дисконтирования	$r \rightarrow \min$	но при $m > a g$
Рост в постпрогнозный период	$g \rightarrow \max$	но при $m > a r$
Прогнозный период	$N \rightarrow \max$	но при $m > a r$

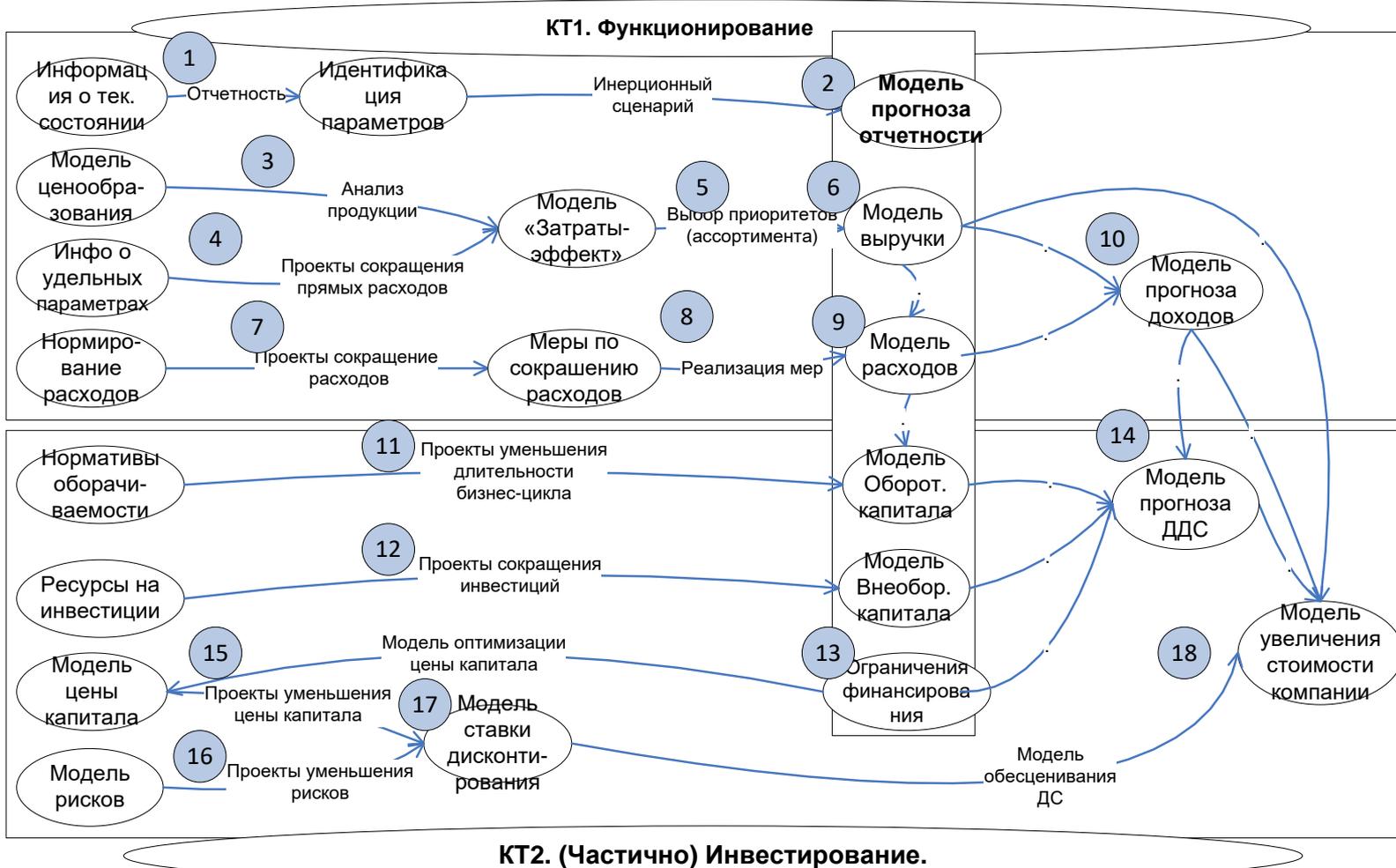
Ключевое условие роста **$m > a r$**
не выполняется для многих организаций.

где EV – стоимость предприятия, FCF – денежный поток для оценки стоимости, m – прибыльность, s – темп роста выручки, a – капиталоемкость, r – ставка дисконтирования, N – длительность прогнозного периода, g – постпрогнозный рост



Схема реализации комплексной технологии развития предприятия: вариант КТ3 (критерий: рост стоимости)

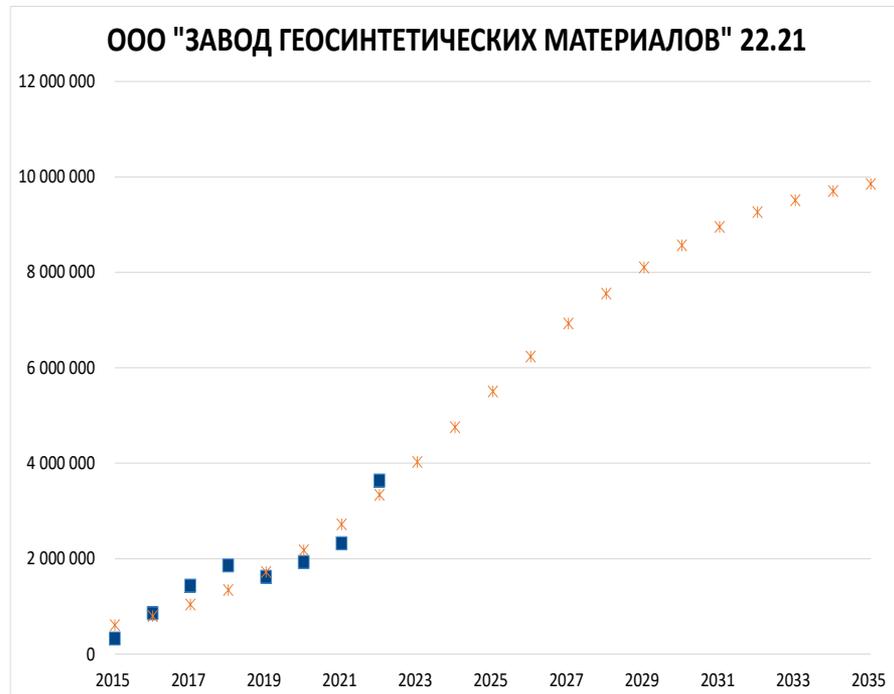
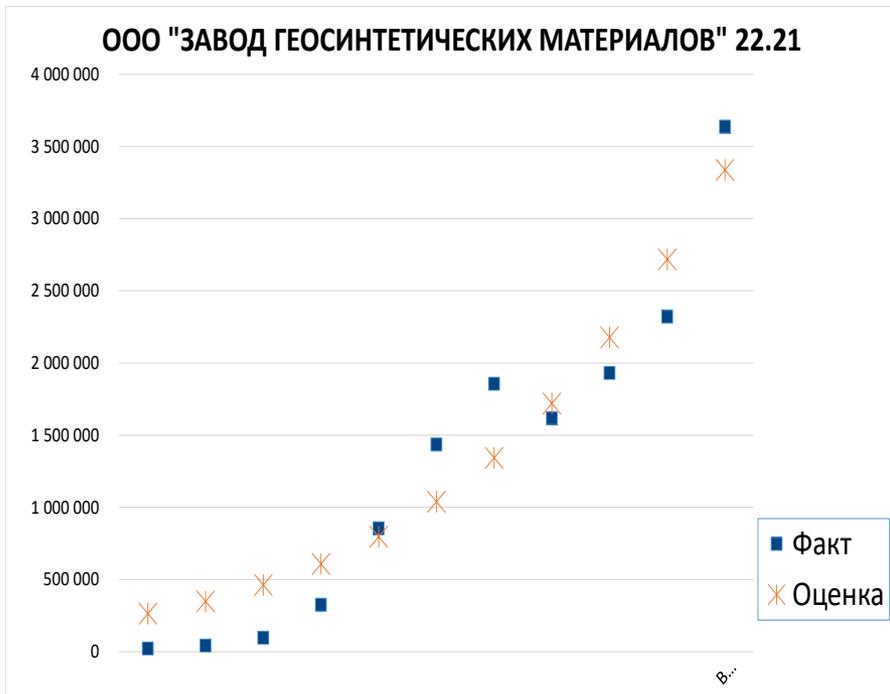
КТ3. Увеличение стоимости





Примеры быстрорастущих организаций

...



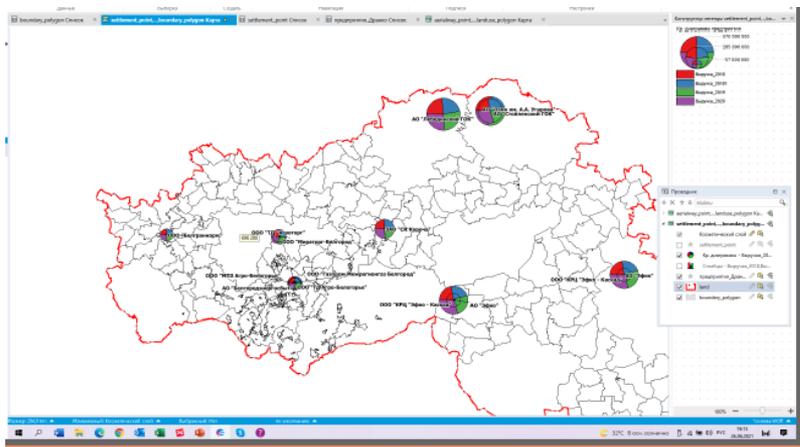


Выявление точек роста на уровне предприятий

(подмодель «Рост выручки предприятий»)

ВидДеят	НаимОрг	Выручка 2019	Выручка 2020	Рост выручки
РАЗДЕЛ А. Сельское, лесное хозяйств	ЗАО "Свинокомплекс Короча"	50 329 297	55 827 042	10,9%
	АО "ПРИОСКОЛЬЕ"	38 745 899	35 952 217	-7,2%
	ООО "Белгранкорм"	25 152 729	23 834 554	-5,2%
	ООО "МИРАТОРГ-БЕЛГОРОД"	21 460 612	20 945 423	-2,4%
	ООО "Русагро-Инвест"	13 290 355	16 754 611	26,1%
	ООО "АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС "ПРОМАГРО"	6 255 817	7 968 008	27,4%
	ООО "АГРОХОЛДИНГ ИВНЯНСКИЙ"	5 362 401	7 342 580	36,9%
	АО "Алексеевский Бекон"	7 005 414	7 334 093	4,7%
	ЗАО "КРАСНОЯРУЖСКАЯ ЗЕРНОВАЯ КОМПАНИЯ"	4 563 467	5 852 627	28,2%
РАЗДЕЛ А. Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство Итого		268 578 555	294 400 549	9,6%

ВидДеят	Кол-во организац	Выручка 2019	Выручка 2020
Общий итог	14767	1 908 202 690	2 104 436 023



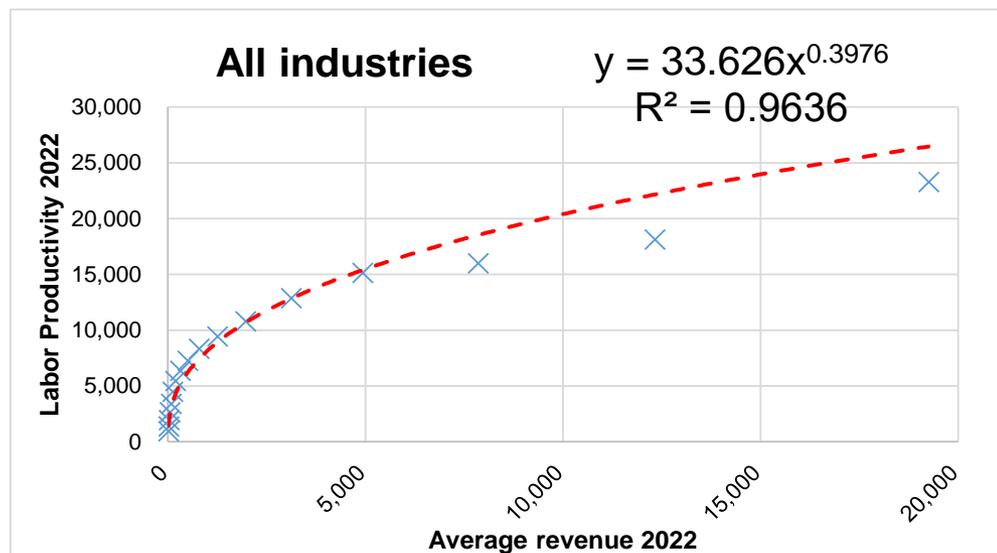
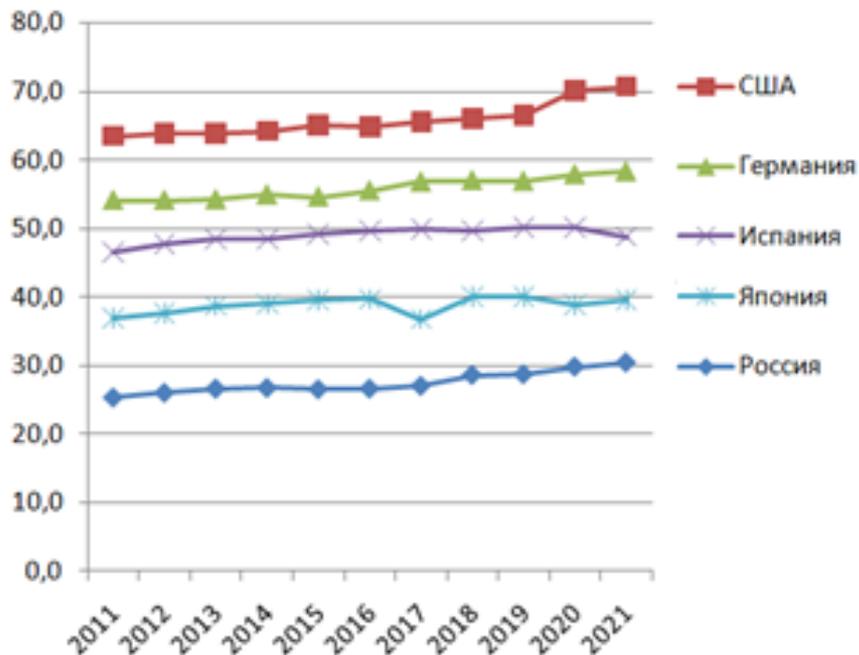
Выводы.

- Сформирована база данных организаций (14 тыс. организаций), зарегистрированных в Белгородской обл., по данным сервиса БФО ФНС
- Выделены организации основных отраслей, обеспечивающих значительный вклад в развитие экономики региона (ВРП, реальная заработная плата)
- Выделены организации с большим ростом в прошлом
- Предприятия рассредоточены по территории Белгородской обл.



Производительность труда

Средняя выработка 1 занятого, USD/час



Источники: На основе The International Labour Organization (ILO). Output per hour worked 2022. [Электронный ресурс]. URL: https://www.ilo.org/shinyapps/bulkexplorer50/?lang=en&id=GDP_PHRW_NO_C_NB_A (дата обращения: 10.05.2023).



Информационное обеспечение



БД мировых организаций



Росстат



ФНС



ФТС



ЦБ



Предприятия

Проекты

*Население –
социальные сети*

Бюджет

Модели

Локальные базы данных

База данных Росреестра

База данных неадекватных организаций

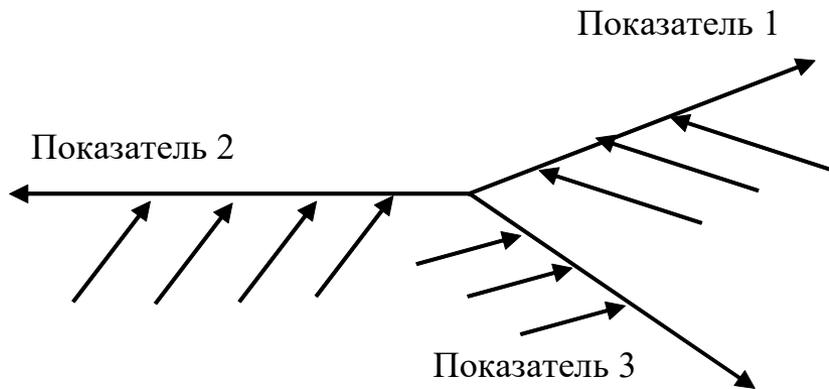
Численность занятых организаций России

Фин. Отчетность
3000 тыс. организаций России,
2 тыс. крупнейших организаций США

Межотраслевые балансы (мировые, европейские, Россия)



Задача ранжирования (3 млн. объектов)



65 показателей, часть иерархична

Решение: свертка $\max\{I_1, I_2, I_3\}$

Новое понятие: «**Мощь**»

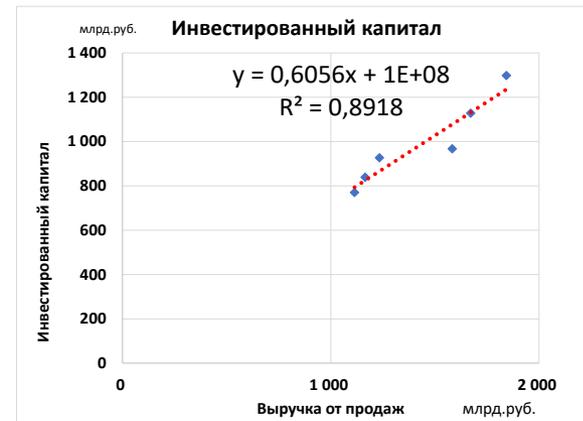
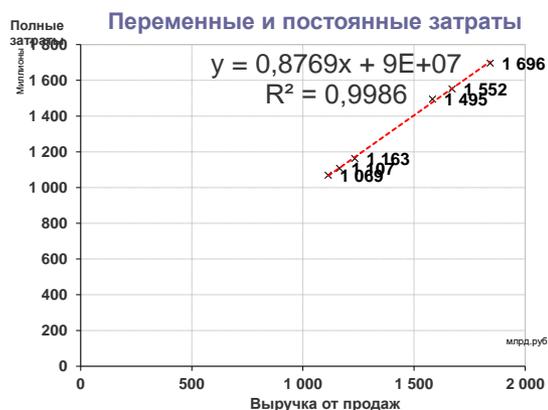
Источник: О.И. Дранко, А.Ф. Резчиков, И.А. Степановская, А.С. Богомолов, В.А. Кушников.
Мощь организации: критерий рейтинга // Управление большими системами. – 2024. – Вып. 110. – С. 235-265.



Аналитические модели для управления по критерию стоимости развитых предприятий

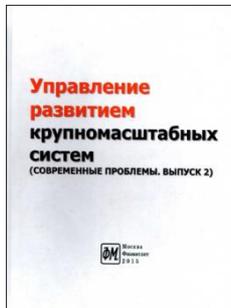
Обоснование постоянства параметров m , s , a

Выборка данных о 522 предприятий машиностроения (коды ОКВЭД-2 «25», «28») с выручкой более 1 млрд.руб. (2018-2023 гг.)

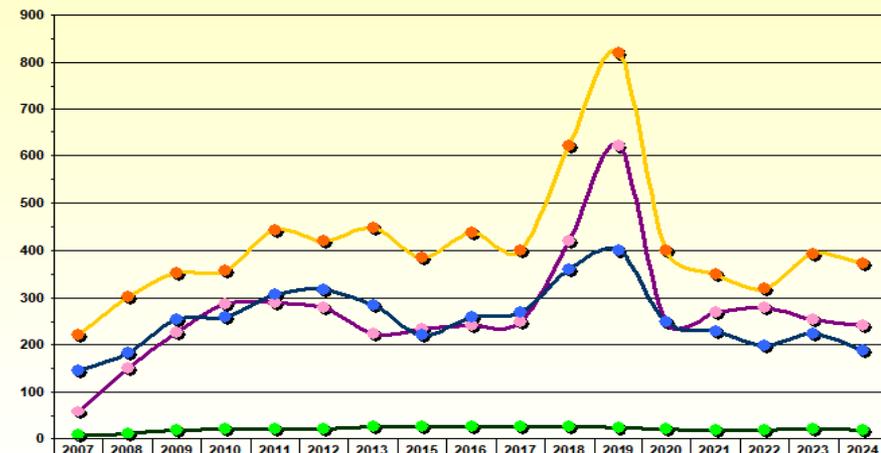


Показатель	Выручка	Затраты полные	Инвестированный капитал
R^2	0,9458	0,9986	0,8918

Здесь m -прибыльность, s -темп роста выручки, a -капиталоемкость.

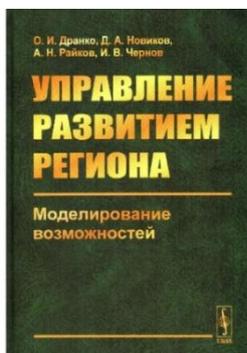


Статистика за 2007- 2024г.г.



Число участников	221	301	352	357	442	420	447	384	437	400	620	820	400	350	320	393	372
Число опытных участников	58	152	227	287	290	280	224	235	242	250	420	620	250	270	280	253	242
Число пленарных докладов	7	9	18	20	21	21	25	26	24	26	24	23	20	18	18	20	18
Число секционных докладов	146	184	253	260	307	317	284	220	259	270	360	400	250	228	198	224	189

1. Варнавский В.Г. Мировая экономика: драйверы, тренды, перспективы – М.: Весь Мир, 2025 – 416 с.
2. Инструменты индикативного планирования (стратегический менеджмент и математическое моделирование) / Под ред. д.т.н. О.И. Дранко. – М.: ЛЕНАНД, 2025. – 376 с. (в печати)
3. О.И. Дранко, Д.А. Новиков, А.Н. Райков, И.В. Чернов. Управление развитием региона: моделирование возможностей. – М.: ЛЕНАНД, 2023. – 432 с.
4. Резчиков А.Ф., Кушников В.А., Богомолов А.С., Иващенко В.А., Кушникова Е.В., Богомолова С.И., Селютин А.Д., Поляков М.С., Барышникова Е.С., Косицын А.А., Хамутова М.В. Математические модели и методы анализа выполнимости планов управления сложными системами в условиях критических комбинаций событий. Саратов: Саратовский университет, 2023. – 128 с.
5. Стратегическое и оперативное управление промышленными предприятиями: учебное пособие / О.В. Логиновский, А.В. Голлай, О.И. Дранко, А.Л. Шестаков; под ред. заслуженного деятеля науки РФ, д.т.н., проф. О.В. Логиновского. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2021. – 325 с.
6. Резчиков А.Ф., Богомолов А.С. Системный анализ аварийных комбинаций событий при управлении человеко-машинными системами. Саратов: Саратовский университет, 2021. – 128 с.
7. Эффективное управление организационными и производственными структурами: монография / О.В. Логиновский, А.В. Голлай, О.И. Дранко, А.Л. Шестаков, А.А. Шинкарев; под ред. О.В. Логиновского.–Москва: ИНФРА-М, 2020.–450 с.
8. Акинфиев В.К., Цвиркун А.Д. Методы и инструментальные средства управления развитием компаний со сложной структурой активов. М.: ИПУ РАН, 2020. – 307 с.



Дальнейшие задачи управления развитием крупномасштабных систем:

- Период окончания активной глобализации
- Структурные сдвиги в мировой и российской торговле
- Импортзамещение
- Выбор критериев развития
- Изменение дефицитных ресурсов
- Изменение технологий
- Изменение транспортных потоков
- Адаптация и развитие моделей и комплексов моделей управления развитием крупномасштабных систем

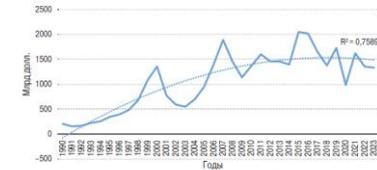
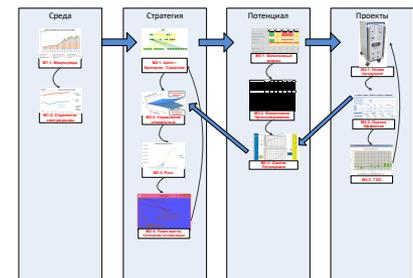
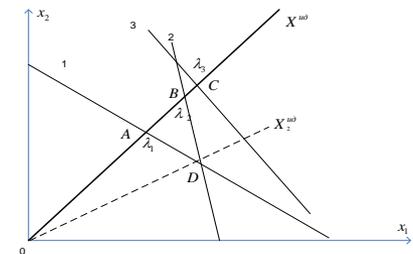
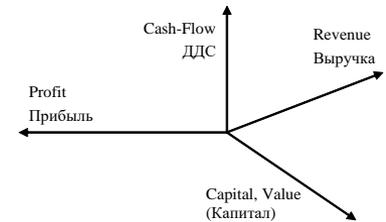


Рисунок 2. Динамика мировых ПИИ, млрд долл., 1990-2023 гг.
Источник: [World Investment Report 2022: 212]





**Нас ждет лучшее будущее.
Вопросы?**



Линейная динамическая система

Линейная динамическая система с дискретным временем:

$$X(t+1) = A X(t) + B U(t),$$

$$Z(t) = C X(t),$$

где $X \in R^n$ – состояние системы, $U \in R^m$ – функция управления, $Z \in R^l$ – выходной сигнал, матрицы $A \in R^{n \times n}$, $B \in R^{n \times m}$, $C \in R^{l \times n}$ предполагаются действительными и $m \leq n$, $l \leq n$.

$A =$

$1+k_S$								
	1							
$(1-k_v)(1+k_S)$	-1		$-k_D$					
$k_I k_S$		$-k_{NE}$	1					
k_I				$1-k_{Am}$				
$-k_I -k_{St} -$								
$k_{AR} + k_{AP}$		k_{NE}		k_{Am}	1			
$(k_{St} + k_{AR}) k_S$					1	1		
k_{AP}								
		k_{NE}						1

Собственные значения матрицы $A_{p,c}$ имеют следующий вид

$$E_{A_{p,c}} = \begin{pmatrix} 1+k_S \\ 1 \\ \frac{1}{2}(1+\sqrt{1+4k_D k_{NE}}) \\ \frac{1}{2}(1-\sqrt{1+4k_D k_{NE}}) \end{pmatrix}$$

Вывод: Система неустойчива по Ляпунову