



Санкт-Петербургская школа экономики и менеджмента

Научно-учебная группа
«Экономика роботизации
отраслей и фирм»

Санкт-Петербург
2023

Анализ взаимосвязи и взаимозависимости роботизации и использования других технологий четвертой промышленной революции

Староватова Д.А.,
Студент 4го курса ОП «Экономика»



Результаты промышленных революций

1.0

- Ткацкий станок и прядильная машина
- Паровая машина
- Каменноугольный кокс вместо древесного угля

2.0

- Электрификация производства
- Двигатель внутреннего сгорания
- Ресурсная база – нефть и газ
- Конвейер

3.0

- Развитие ИТ
- Робототехника
- Персональные компьютеры
- Распространение сети Интернет
- Развитие связи

4.0

- Киберфизические системы

2 половина XVIII

в.

2 половина XIX в.

2 половина XX в.

1 половина XXI в.

Индустрия 4.0

Индустрия 4.0 - новая промышленная революция или продолжение Индустрии 3.0?
(Тебекин А.В. и др., 2021).

Индустрия 4.0 подразумевает не создание абсолютно новой технологии, а **интеграцию** уже существующих.
(Шваб, 2016)

Ядро концепции - **киберфизические системы**, т.е. комплекс взаимосвязанных между собой инженерных физических, вычислительных и сетевых систем и систем данных.
(Ватаманюк и Яковлев, 2019)



Этапы перехода к «Индустрии 4.0»:
(Schuh G. et all, 2017)

I. Computerization

Изолированное использование ИТ

II. Connectivity

Интеграция информационных и организационных технологий

III. Visibility

Цифровые «двойники»/модели

IV. Transparency

Технологии сбора данных и **Big Data**

V. Predictive capacity

Методы и алгоритмы прогнозирования

VI. Adaptability

Искусственный интеллект



Цифровые технологии

Тип	Преимущества применения в бизнесе
Интернет вещей, в т.ч. промышленный	Своевременный и автономный контроль за бизнес-процессами и состоянием физических объектов в режиме реального времени.
Робототехника	Сокращение переменных издержек, рост скорости работы, повышение безопасности, снижение вероятности допущения брака.
Искусственный интеллект	Автономное принятие решений и контроль проверки рутинных действий для минимизации риска пользовательской ошибки.
Аддитивные технологии	Экономия материалов, сокращение количества необходимых комплектующих для создания детали; штучное изготовление продукта любой формы, рост скорости изготовления детали.
Дополненная реальность	Обучение и тестирование персонала, создание виртуальных макетов изделия, модели технологии производства, его эксплуатации и ремонта и пр.
Облачные технологии	Сокращение капитальных затрат, быстрое обновление данных, возможность быстрого «масштабирования».
Анализ больших данных	Описательная: выявление причин и закономерностей успехов или неудач. Предиктивная: прогнозирования наиболее вероятного исхода событий на основе полученных ранее данных. Предписательная: поиск проблемных точек и расчёт сценария, при котором их можно избежать.



Исследовательский вопрос

Как робототехника связана с другими передовыми цифровыми технологиями?

H1: Роботы имеют значимую и положительную связь с IoT.

Интеграция IIoT в роботизированную цепочку производства снижает издержки по контролю состояния промышленных роботов (Мелешенко, 2017).

H2: Роботы имеют значимую и положительную связь с ИИ.

4 основных области применения (Хасбулатова, 2020):
обслуживание клиентов; роботизированная сборка; роботизированная упаковка; робототехника с исходным кодом.

H3: Роботы имеют значимую и положительную связь с технологиями VR.

VR-технологии могут применяться в промышленности для обучения работе с роботами и управления ими (Иванищев, Островская, 2020).

H4: Роботы имеют слабую положительную связь с облачными технологиями и Big Data.

Отмечается тесная связь Big Data и облачных технологий (Шалыгина, 2017), которые активно используются в IoT-системах (Khare, Totaro, 2019) => косвенная связь с роботами.

H5: Роботы имеют значимую и положительную связь с аддитивными технологиями.

Роботизированная 3D-печать (Богачёва, Кукушкин, 2020).
Совместное использование для сокращения объёмов сборочных работ и видов механообработки (Строганова, Ефимов, 2017).



Описание данных

Источник данных

«Конкурентоспособность российской промышленности», 2018г.

Описание выборки

- Перекрёстные данные за 2017г.
- 1716 случайно отобранных российских предприятий промышленного сектора.
- 1461 предприятие для исследования.

Контрольные переменные

- Размер (Bonfiglioli et al, 2020; Koch et al, 2019)
- Тип собственника
- Отрасль с высоким СПР (Acemoglu et al, 2020)
- Технологический уровень основной производственной линии

Использование цифровых технологий	N	%
Все предприятия	1716	100,0
Предприятия, использующие:		
Интернет вещей и промышленный интернет	607	35,4
Облачные технологии и сервисы	596	34,7
Анализ больших данных, предиктивная аналитика	335	19,5
Робототехника	312	18,2
Искусственный интеллект, машинное обучение	204	11,9
Технологии виртуальной реальности	184	10,7
Технология аддитивного производства, в т.ч. 3D-печать	168	9,8



Методология

Зависимая переменная - бинарная переменная: **1** – если компания использует роботов, **0** – если нет => **логистическая регрессия**

Размер и технологический уровень основной производственной линии – **категориальные переменные**

Для проверки качества модели используется **ROC-анализ**

Для проверки **прогностической способности** модели мы случайным образом распределили все наблюдения на тренировочную (**75%**) и тестовую (**25%**) выборку

$$P (\text{Использование Роботов} = 1) = 1 / (1 + \exp^{-Z}),$$

где P – вероятность использования предприятием роботов в производстве; а Z вычисляется по следующей формуле:

$$Z = \beta_0 + \beta_1 * \text{Облачные технологии и сервисы} + \beta_2 * \text{Анализ больших объёмов данных} + \beta_3 * \text{Интернет вещей и промышленный интернет} + \beta_4 * \text{Искусственный интеллект} + \beta_5 * \text{Технологии виртуальной реальности} + \beta_6 * \text{Технологии аддитивного производства} + \beta_{7-9} * \text{Размер}_j + \beta_{10} * \text{Государственный собственник} + \beta_{11} * \text{Иностраннный собственник} + \beta_{12} * \text{Отрасли промышленности с высоким СПР} + \beta_{13-15} * \text{Технологический уровень основной производственной линии}_i$$



Результаты исследования

При прочих равных вероятность использования роботов на предприятии, использующем:

- ИИ, в $\exp(1.508) \approx 4.51$ раз выше;
- аддитивные технологии, в $\exp(0.696) \approx 2.01$ раз выше;
- IoT, в т.ч. IIoT, в $\exp(0.316) \approx 1,37$ раз выше.

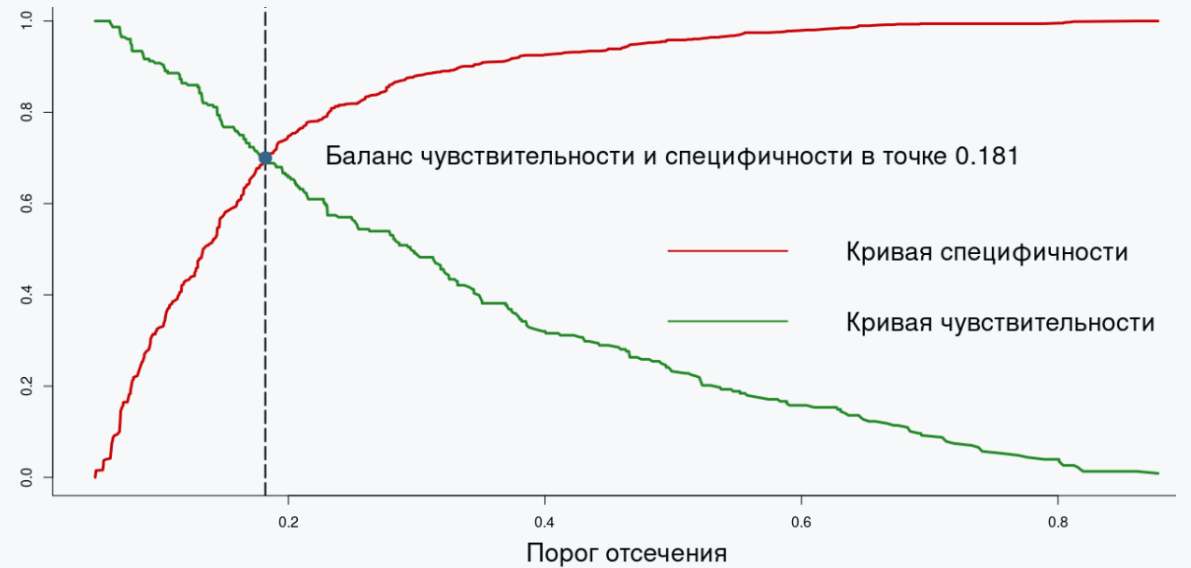
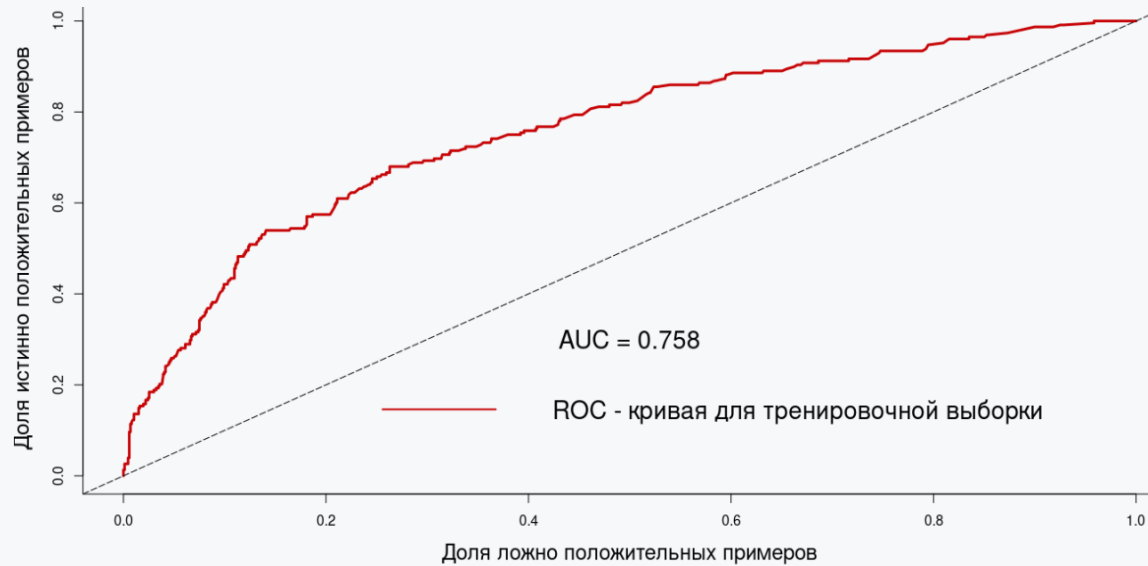
Использование роботов более вероятно:

- в более крупных компаниях;
- при наличии государственного и иностранного собственника;
- при высокой прогрессивности применяемых технологий для производства.

Переменные	Logit(P(Робототехника = 1))
ИИ, в т.ч. машинное обучение	1.508 ***
Технологии виртуальной реальности	0.109
Технология аддитивного производства	0.696 **
Big data, предиктивная аналитика	-0.229
Облачные технологии и сервисы	0.243
Интернет вещей, в т.ч. промышленный интернет	0.316 *
Микро база	
Малые	0.235
Средние	1.104 **
Крупные	0.973 **
Государственный собственник	1.082 **
Иностранный собственник	0.517 *
Отрасли промышленности с высоким СПР	-0.123
Основная производственная линия (ОПР) соответствует среднему уровню отечественных конкурентов или ниже	база
ОПР соответствует лучшей зарубежной практике	0.722 *
ОПР соответствует среднему уровню зарубежных конкурентов	0.292
ОПР соответствует лучшей отечественной практике	0.127
Константа	-2.821 ***
Количество наблюдений	1095



Качество модели



Порог отсеечения – **0.181**

Доля верно предсказанных исходов на тестовой выборке составила **65,85%**, при этом специфичность и чувствительность модели равняется **66,67%** и **62,67%** соответственно.



Заключение

- Массовый переход предприятий РФ к идее создания «умных» предприятий в ближайшее время невозможен из-за низкого уровня цифровизации.
- Промышленный сектор уже встал на путь перехода к четвёртой промышленной революции, на что указывает наибольший интерес предприятий к технологиям промышленного Интернета вещей.
- Для глубокой роботизации, и цифровизации в целом, и, соответственно, перехода России к концепции четвёртой промышленной революции, предприятиям необходима государственная поддержка.



Дальнейшее раскрытие темы

Не связь, а влияние:

	Использовались предприятием в пе- риод до 2019 года (включительно)	Начали исполь- зоваться пред- приятием в 2020 году или позднее
1. Облачные технологии и сервисы – размещение и обработка дан- ных на внешних серверах	1	1
2. Анализ больших объемов данных (bigdata), предсказательная ана- литика	2	2
3. Интернет вещей (промышленный интернет)	3	3
4. Технологии и устройства радиочастотной идентификации (RFID)	4	4
5. Технологии виртуальной и/или дополненной реальности	5	5
6. Искусственный интеллект, машинное обучение	6	6
7. Робототехника, включая промышленных, сервисных и/или колла- боративных роботов	7	7
8. Аддитивные технологии, включая 3d печать	8	8
9. Система управления продажами/взаимоотношениями с клиен- тами (CRM)	9	9
10. Система планирования и управления ресурсами (ERP)	10	10
11. Система управления цепочками поставок (SCM)	11	11
12. Другое (что именно)	12	12
13. Предприятие не использовало и не использует цифровые техно- логии	13 ПЕРЕХОД К ВОПРОСУ G04	
98. Затрудняюсь ответить	98	98
99. Отказ от ответа	99	99

Метод:

- Логистическая регрессия
- Использование роботов до **2019г.**
– ключевой регрессор
- Использование цифровых технологий после **2019г.** –
зависимые переменные

Ограничение:

- Влияние пандемии **COVID-19**, а не
использования роботов



Санкт-Петербургская школа экономики и менеджмента

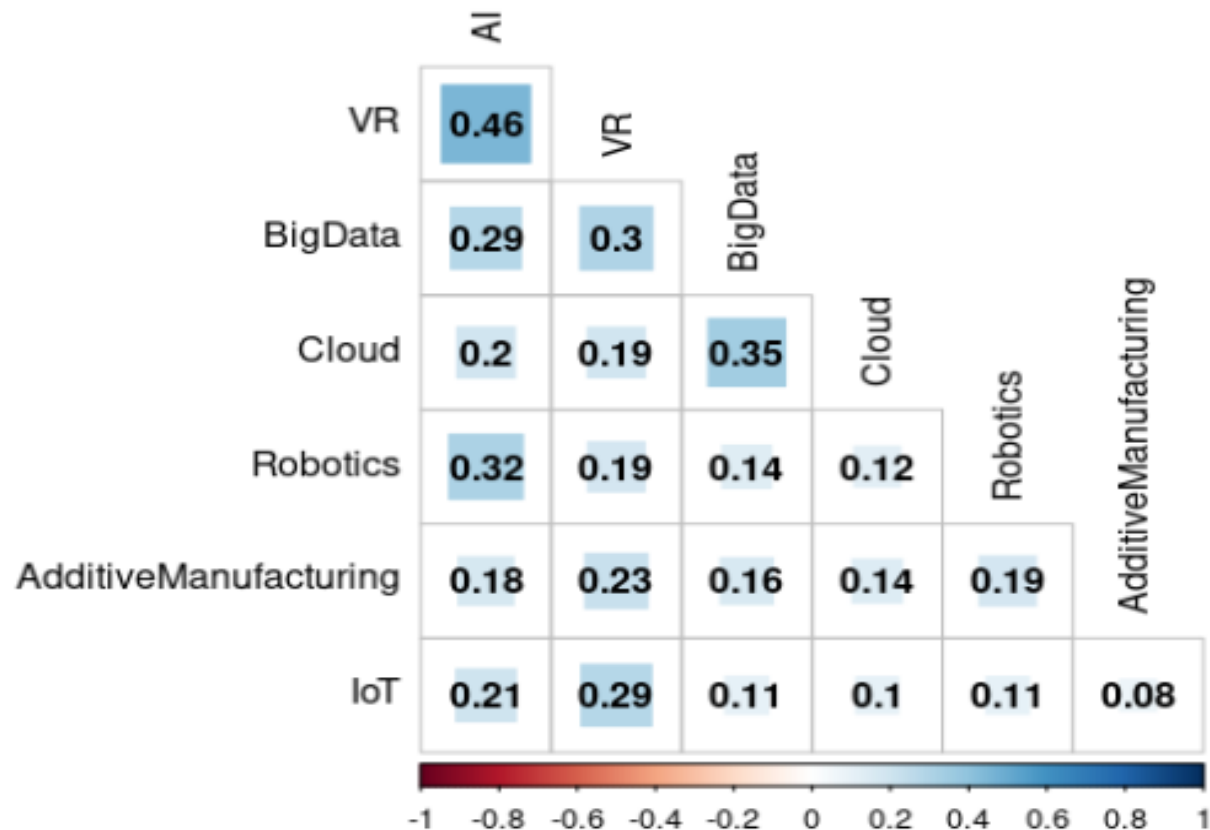
Научно-учебная группа
«Экономика роботизации
отраслей и фирм»

Санкт-Петербург
2023

Анализ взаимосвязи и взаимозависимости роботизации и использования других технологий четвертой промышленной революции

Староватова Д.А.,
Студент 4го курса ОП «Экономика»

Приложение 1. Корреляционный анализ



Наиболее сильная корреляция роботов с ИИ, технологиями виртуальной реальности и аддитивными технологиями.

Мультиколлинеарность контрольных переменных также отсутствует.

Исключение - категориальные переменные. Их корреляционная связь выше, однако не является критичной (не более $|0.6|$).



Приложение 2. Описательная статистика

Всего в выборке	Тренировочная выборка		Тестовая выборка	
	N	%	N	%
Робототехника	228	20,8%	75	20,5%
ИИ, машинное обучение	150	13,7%	47	12,8%
VR-технологии	134	12,2%	43	11,7%
Аддитивные технологии, в т.ч. 3D-печать	133	12,1%	31	8,5%
Big Data, предиктивная аналитика	251	22,9%	71	19,4%
Облачные технологии	444	40,5%	130	35,5%
IoT, в т.ч. IIoT	439	40,1%	146	39,9%
Микро	151	13,8%	34	9,3%
Малые	372	34,0%	129	35,2%
Средние	116	10,6%	43	11,7%
Крупные	456	41,6%	160	43,7%

Всего в выборке	Тренировочная выборка		Тестовая выборка	
	N	%	N	%
Государственный собственник	33	3,0%	16	4,4%
Иностраный собственник	62	5,7%	22	6,0%
Отрасли промышленности с высоким СПР	646	59,0%	208	56,8%
Соответствует среднему уровню отечественных конкурентов или ниже	151	13,8%	52	14,2%
Соответствует среднему уровню зарубежных конкурентов	445	40,6%	131	35,8%
Соответствует лучшей отечественной практике	324	29,6%	133	36,3%
Соответствует лучшей зарубежной практике	175	16,0%	50	13,7%