



HIGHER SCHOOL OF ECONOMICS
NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY

Современные подходы к анализу экономических эффектов от роботизации

Николай Городный

Центр исследований структурной политики НИУ ВШЭ

Февраль 17, 2022

НУГ «Экономика роботизации отраслей и фирм»

Актуальность

- Рост интереса к теме особенностей и последствий роботизации
- Значительный разрыв в уровне роботизации между странами-первопроходцами и странами-последователями
- Отсутствуют оценки эффектов роботизации в российской экономике

Основные направления влияния робототехники в национальных экономиках (*Fernández-Macías et al., [2021](#); Acemoglu and Autor, [2011](#); Acemoglu and Restrepo, [2018a](#), [2018b](#), [2019](#); Autor et al., [2003](#); Barbieri et al., [2019](#))*

- (1) эффекты, связанные с вытеснением роботами рабочей силы из конкретных задач и связанные работы о влиянии робототехники на занятость
- (2) эффекты, возникающие, когда внедрение робототехники создает новые рабочие места
- (3) эффекты роста производительности и выпуска в экономике

Выбор статей

(1) **Acemoglu, D., Claire L., and Pascual R., (2020).** Competing with Robots: Firm-Level Evidence from France.

Плюсы:

- Межфирменный подход
- Использование схожей методологии в части измерения внедрения роботов
- Использование смежных данных

Минусы: Доля фирм, внедряющих роботов = 1,07% от общей выборки

(2) **Bonfiglioli, A., Crinò, R., Fadinger, H., & Gancia, G. (2020).** Robot imports and firm-level outcomes.

Плюсы:

- Одни из первых стали измерять внедрение роботов через уровень импорта на уровне фирм для выявления причинно-следственных связей
- Широкая методология с использованием IV и DID методов

Минусы: Доля фирм, внедряющих роботов = 1,15% от общей выборки

(1) Acemoglu, Daron, Claire Lelarge, and Pascual Restrepo, (2020). "Competing with Robots: Firm-Level Evidence from France."

- Постановка проблемы

В данной работе авторы изучают изменения на уровне фирм, связанные с внедрением роботов, используя данные по Франции за период с 2010 по 2015 год.

- Данные и выборка

55 390 фирм / **598** внедрили роботов в период с **2010** по **2015** год

- Основные выводы и результаты

Общее влияние внедрения роботов на занятость в промышленности отрицательное

Влияние роботов на общую долю рабочей силы больше, чем их влияние на уровне фирмы

Size bins (emp. 2010)	All firms	Robot adopters			Sources of robot purchases data		
		Total number	Share of adopters in bin	Share hours among adopters	DGE survey	Customs data	SYMOP and fiscal files
> 5,000 workers	21	12	57.1%	78.0%	< 5	9	8
250 to 5,000 workers	1,114	169	15.2%	21.3%	8	95	82
10 to 250 workers	19,975	380	1.9%	4.2%	100	158	180
≤ 10 workers	34,280	37	0.1%	0.2%	11	13	20
Total	55,390	598	1.1%	19.8%	.	275	290

Notes—The table reports the composition of our sample for firms of different sizes. The Appendix describes the sources used.

Изменения на уровне фирмы

$$(1) \quad \Delta \ln y_f = \beta * Robot_f + \gamma * X_f + \alpha_{i(f)} + \delta_{c(f)} + \varepsilon_f$$

TABLE 1: Estimates of robot adoption on firm-level outcomes.

	(1)	(2)	(3) Δ	(4)	(5)	(6)	(7)
	Δ log value added	Δ labor share	production employment share	Δ log value added per hour	Δ log revenue TFP	Δ log employment (in hours)	Δ log mean hourly wage
<i>Panel A—Unweighted estimates</i>							
Robot adopter	0.204	-0.043	-0.016	0.095	0.024	0.109	0.009
	(0.030)	(0.009)	(0.007)	(0.018)	(0.007)	(0.020)	(0.004)
R^2	0.083	0.161	0.014	0.222	0.196	0.093	0.024
<i>Panel B—Employment-weighted estimates</i>							
Robot adopter	0.094	-0.027	-0.006	0.040	-0.011	0.054	-0.008
	(0.025)	(0.012)	(0.006)	(0.029)	(0.013)	(0.017)	(0.008)
R^2	0.216	0.274	0.080	0.323	0.298	0.188	0.139

- **Модель оценивает** изменения на уровне фирмы в добавленной стоимости, производительности, доле труда, занятости и заработной плате, связанные с внедрением роботов;
- **Метод:** OLS по фирмам (f)

Основные результаты

- Внедрение роботов связано с увеличением добавленной стоимости, а также снижением доли труда и снижением доли производственных рабочих в занятости
- Увеличиваются добавленная стоимость в час и TFP
- Занятость увеличивается в фирмах, внедряющих роботов, наряду с незначительным увеличением почасовой заработной платы

Изменения на уровне рынка

$$(2) \quad \text{Adoption by competitors}_f = \sum_i m_{fi} * \sum_{f' \neq f} s_{if'} * \text{Robot}_{f'}$$

TABLE 2: Estimates of robot adoption on competitors

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	$\Delta \log \text{ employment}$ (in hours)	$\Delta \log \text{ value}$ added	$\Delta \text{ labor}$ share	$\Delta \log \text{ employment}$ (in hours)	$\Delta \log \text{ value}$ added	$\Delta \text{ labor}$ share
	<i>Unweighted estimates</i>			<i>Employment-weighted estimates</i>		
Robot adoption by competitors	-0.105 (0.047)	-0.100 (0.051)	0.002 (0.015)	-0.250 (0.107)	-0.209 (0.159)	-0.008 (0.040)
Robot adopter	0.106 (0.020)	0.201 (0.030)	-0.043 (0.009)	0.035 (0.022)	0.078 (0.029)	-0.027 (0.012)
R^2	0.093	0.083	0.161	0.190	0.217	0.274

- Рост занятости в этих фирмах может сопровождаться снижением занятости в других фирмах, и эффект автоматизации на уровне рынка может сильно отличаться от ее воздействия на уровне фирмы
- **Метод:** OLS по фирмам (f), но включающий показатель внедрения роботов конкурентами фирмы

Основные результаты

- Рост внедрения роботов конкурентами связан со снижением занятости и снижением добавленной стоимости
- В соответствии с нашей теорией, внедрение роботов конкурентами не влияет на долю труда фирмы
- Из-за негативного влияния на конкурентов эффект на уровне фирмы не приводит к аналогичным последствиям на уровне рынка
- Агрегируя собственные эффекты и эффекты конкурентов, авторы обнаружили, что внедрение роботов связано с общим снижением занятости в отрасли

Заключение

- эффекты на уровне фирм не соответствуют общему воздействию автоматизации, поскольку фирмы, внедряющие такие технологии, снижают свои издержки и расширяются за счет конкурентов
- французские производственные фирмы, внедряющие роботов, снижают свою долю труда и долю производственных рабочих и повышают производительность, а также расширяют свою деятельность и занятость.
- компенсируется значительным снижением занятости их конкурентов
- фирмы, внедряющие роботов, увеличивают свою занятость, **последствия внедрения роботов на рыночном уровне являются негативными**
- внедрение роботов способствует снижению доли труда в обрабатывающей промышленности за счет уменьшения ковариации между добавленной стоимостью на уровне фирм

Ориентируемся в этой статье

1) Переменные

2) Структура данных

(2) Bonfiglioli, A., Crinò, R., Fadinger, H., & Gancia, G. (2020). Robot imports and firm-level outcomes.

- **Постановка проблемы**

Авторы разработали эмпирическую стратегию для выявления причинно-следственных эффектов внедрения роботов.

RQ: как импорт промышленных роботов влияет на показатели фирмы?

- **Данные и выборка**

Данные о французских компаниях за период 1994-2013 гг.

- **Основные выводы и результаты**

Изменения в автоматизации приводят к сокращению рабочих мест;

Импорт роботов повышает производительность и долю занятости высококвалифицированных профессий, но слабо влияет на общий объем продаж;

Повышение производительности за счет автоматизации может не полностью передаваться потребителям в виде снижения цен.

- **Новизна**

Измерения автоматизации с помощью детального импорта промышленных роботов французскими фирмами за период 1994-2013 годов и использовании новой стратегии идентификации для выявления причинно-следственных связей.

Данные и методы

Источники

- описательная статистика, включает полный набор лет (1994-2013)
- Регрессии инструментальных переменных (IV) охватывает период 1996-2013 годов с использованием 1994 года в качестве базового года.
- таможенные данные об экспорте и импорте на уровне 8-ми знаков классификации Combined Nomenclature (CN), полученные от таможенного органа Франции (DOUANE)

Методы

- объединяет несколько наборов данных на уровне фирм, управляемых французским статистическим агентством (INSEE)
- данные о продажах, закупках материалов, запасе капитала (стоимость материальных активов) в евро и общей занятости
 - Эта информация использована для расчета TFP добавленной стоимости и выручки на уровне фирмы.
- TFP рассчитана на основе производственной функции добавленной стоимости Кобба-Дугласа с трудом и физическим капиталом в качестве исходных ресурсов и эластичностью выпуска по исходным ресурсам, которая варьируется на 2-значном уровне NACE.

Модель и переменные

Table 1: Descriptive Statistics

	Robot Adopters					
	Obs.	No. Firms	Mean	Median	Std. Dev.	Mean Δ (annualized)
Robot adopter	6,003	746	1	1	1	0
Robot intensity	6,003	746	0.108	0.005	0.635	0.190
No. of employees	6,003	746	838	184	3,107	-0.017
Empl. sh. high skill	6,003	746	0.157	0.111	0.142	0.006
Sales (€'000)	6,003	746	758,388	42,911	6,965,072	-0.073
Sales per worker (€'000)	6,003	746	2,002	221	108,120	-0.058
VA per worker (€'000)	5,855	742	183	164	2,802	-0.069
TFP	5,848	741	422	164	2,702	-0.066
Importer	6,003	746	0.973	1	0.163	0.001
Exporter	6,003	746	0.950	1	0.218	0.002
Replaceability	513	513	0.372	0.403	0.185	-
	Non Robot Adopters					
Robot adopter	616,798	64,014	0	0	0	0
Robot intensity	604,409	64,014	0	0	0	0
No. of employees	616,798	64,014	77	27	309.54	-0.029
Empl. sh. high skill	616,798	64,014	0.082	0.056	0.107	0.003
Sales (€'000)	616,794	64,014	53,465	7,385	673,610	-0.091
Sales per worker (€'000)	616,794	64,014	653	223	11,554	-0.063
VA per worker (€'000)	604,960	63,307	187	69	1,945	-0.066
TFP	593,795	62,571	287	128	1,343	-0.071
Importer	616,798	64,014	0.560	1	0.4963	0.001
Exporter	616,798	64,014	0.554	1	0.4971	0.004
Replaceability	36,459	36,459	0.356	0.358	0.190	-

Результаты (1)

$$(3) \quad Y_{ijt} = \alpha_i + \alpha_{ij} + \beta * Rob_Adoption_{ijt} + X'_{ijt} * \gamma + \varepsilon_{ijt},$$

$$(4) \quad Y_{ijt} = \alpha_i + \alpha_{ij} + \sum_{s=-5}^5 \beta_s * Rob_Adoption_{ijt-s} + \varepsilon_{ijt},$$

Table 2: Firm-Level Outcomes and Robot Adoption, Panel (OLS)

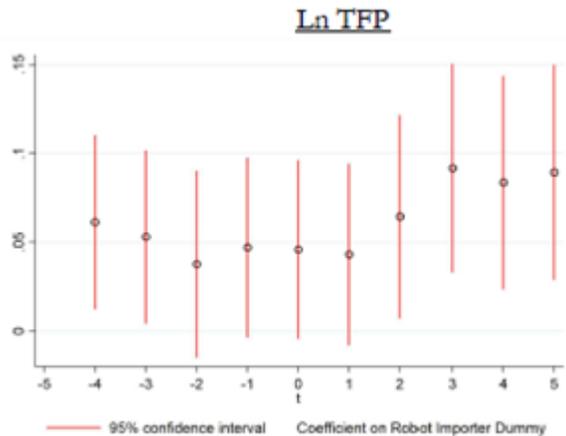
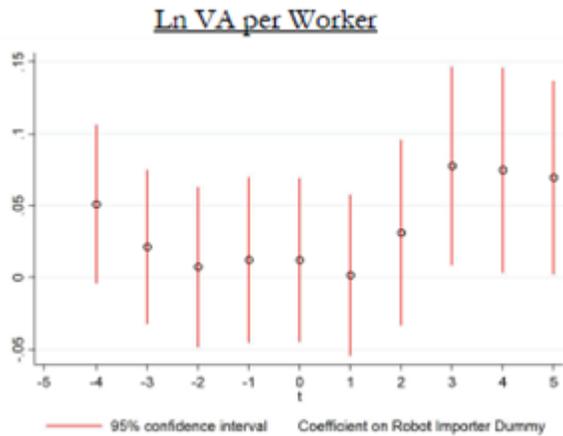
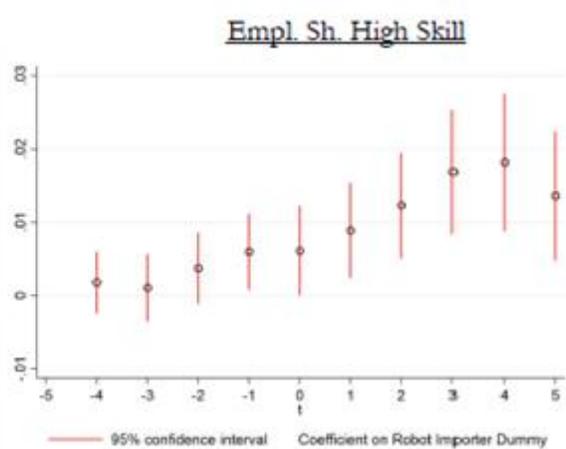
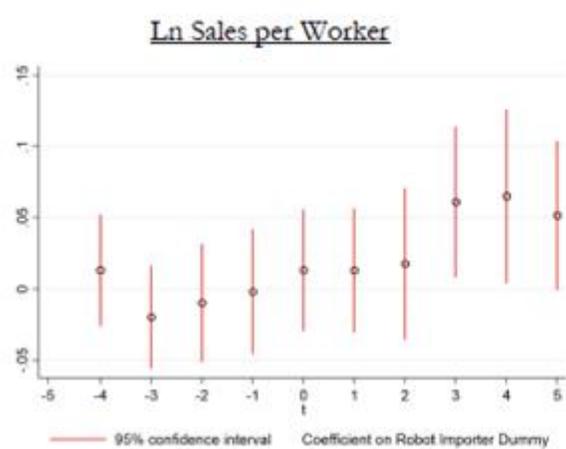
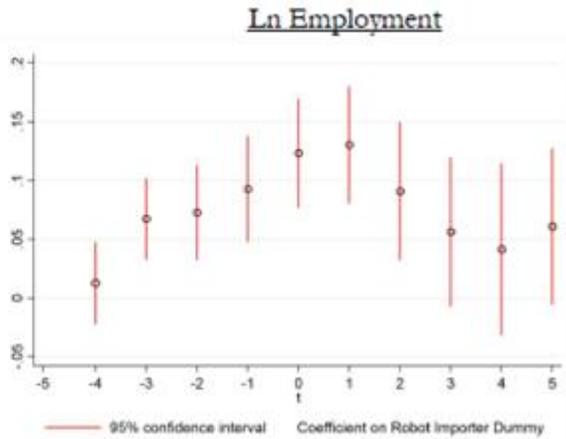
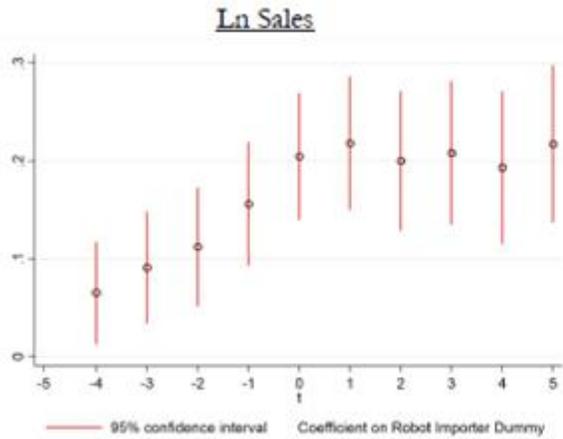
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	ln Sales		ln Employment		ln Sales per Worker	
Rob_Adoption	0.130*** [6.113]	0.198*** [9.546]	0.093*** [4.622]	0.114*** [5.664]	0.039*** [2.614]	0.087*** [5.797]
Obs.	615,785	614,427	617,229	615,595	615,785	614,427
R2	0.949	0.95	0.878	0.878	0.89	0.891
	ln VA per Worker		ln TFP		Empl. Sh. High Skill	
Rob_Adoption	0.011 [0.707]	0.051*** [3.155]	0.030** [2.042]	0.067*** [4.492]	0.011*** [4.195]	0.003 [0.973]
Obs.	605,217	603,926	593,996	592,746	617,229	615,595
R2	0.815	0.815	0.857	0.858	0.677	0.679
Firm FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Industry ×year FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Controls	No	Yes	No	Yes	No	Yes

Результаты (2)

Table 3: Firm-Level Outcomes and Ln Robot Intensity, Panel (OLS)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	ln Sales		ln Employment		ln Sales per Worker	
Ln Rob_Intensity	-0.141*** [-4.396]	-0.138*** [-4.253]	-0.191*** [-5.882]	-0.186*** [-5.661]	0.033* [1.861]	0.029 [1.589]
Obs.	5,998	5,948	6,003	5,953	5,998	5,948
R2	0.982	0.982	0.955	0.956	0.885	0.886
	ln VA per Worker		Ln TFP		Empl. Sh. High Skill	
Ln Rob_Intensity	0.052*** [3.074]	0.056*** [3.265]	0.026* [1.668]	0.032** [2.119]	0.018*** [2.936]	0.018*** [2.708]
Obs.	5,823	5,773	5,817	5,767	6,003	5,953
R2	0.795	0.798	0.883	0.885	0.876	0.877
Firm FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Industry ×year FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Controls	No	Yes	No	Yes	No	Yes

Difference-in-Differences подход



Instrumental Variables

$$\Delta Y_{ij} = \alpha_s + \beta \cdot \Delta Rob_Adoption_{ij} + \mathbf{X}'_{ij} \cdot \gamma + \Delta \varepsilon_{ij},$$

Table 5: Firm-Level Outcomes and Robot Adoption, Long Differences (IV)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	$\Delta Rob_Adoption$	$\Delta \ln Sales$	$\Delta \ln Employment$	$\Delta \ln Sales$ per Worker	$\Delta \ln VA$ per Worker	$\Delta \ln TFP$	$\Delta Empl. Sh.$ High Skill
$\Delta Rob_Adoption$		0.192 [0.422]	-0.557** [-2.006]	1.019** [2.100]	1.188* [1.864]	0.816 [1.521]	0.047** [2.024]
Rob_Exposure	0.002*** [2.898]						
Replaceability	0.033*** [2.657]	-0.021*** [-3.423]	-0.021*** [-6.324]	0.002 [0.291]	-0.005 [-0.666]	-0.013** [-2.102]	-0.003*** [-7.431]
Rob_Suitability	0.344** [2.334]	0.196 [0.504]	-0.085 [-0.308]	0.289 [0.743]	0.244 [0.516]	0.113 [0.253]	0.085** [2.407]
$\ln Initial Sales$	0.013*** [7.308]	-0.017*** [-2.665]	0.007** [2.111]	-0.027*** [-4.458]	-0.029*** [-3.764]	-0.023*** [-3.260]	0.000 [0.272]
Dummy Initial Importer	0.000 [0.127]	0.015*** [6.561]	0.001 [0.787]	0.014*** [5.704]	0.015*** [5.365]	0.014*** [6.172]	0.001** [2.380]
Dummy Initial Exporter	0.001 [0.724]	0.006*** [3.124]	-0.004*** [-2.762]	0.011*** [4.557]	0.009*** [3.605]	0.008*** [4.001]	0.001*** [3.610]
Obs.	36,950	36,666	36,950	36,666	35,534	33,964	36,950
KP F-Statistic		8.745	8.399	8.745	7.370	7.081	8.399

Заключение

- Фирмы, внедряющие роботов, существенно отличаются: они крупнее, производительнее и нанимают большую долю высококвалифицированных работников;
- Изменения в автоматизации приводят к потере рабочих мест, особенно для низкоквалифицированных работников;
- Внедрение роботов значительно увеличивает продажи на одного работника, НО их влияние на общий объем продаж гораздо менее сильное, что говорит о том, что повышение эффективности не всегда приводит к эквивалентному снижению цен;
- Повышение производительности за счет автоматизации может быть частично компенсировано ростом наценок
- Широкое распространение автоматизации, возможно, способствует росту рыночной власти.

Ориентируемся в этой статье

- 1) Расчёт TFP
- 2) Измерение применения роботов через импорт на уровне фирм
- 3) Структура данных

Новизна

Существует большое количество исследований по развитым странам, но сохраняется значительный разрыв в уровне роботизации между странами-первопроходцами и странами-последователями

- 1) Наше исследование одно из первых, которое оценит эффекты от внедрения промышленных роботов на микро и мезо (отраслевом) уровне относительно развивающейся страны (России)
- 2) Комбинирование нескольких баз данных (существующие исследования российской экономики обычно основаны на ограниченных данных выборочных опросов или на общедоступной статистике)
- 3) Получение представления о специфике и барьерах внедрения роботов в России
- 4) Направление на (1) производительность труда, безработицы; (2) обсуждение перспектив повышение конкурентоспособности Российских компаний для наращивания потенциала и впоследствии интеграции на мировой рынок и улучшения позиций в ГЦСС

Эмпирическая стратегия

Данные: Российская (ФТС; НИУ ВШЭ - RUSLANA и RUFiGE; Росстат) и зарубежная статистика (IFR; Евростат; ОЭСР; COMTRADE; Всемирный банк).

Выборка: Российские фирмы

Метод: 5- значный код ОКВЭД сектора (84795)

Горизонт: Панельные данные 7 лет (2011-2018)

Эмпирическая методология определения TFP

$$Y_{it} = A_{it} K_{it}^{\beta_k} L_{it}^{\beta_l} M_{it}^{\beta_m}$$

$$y_{it} = \beta_0 + \beta_k k_{it} + \beta_l l_{it} + \beta_m m_{it} + \varepsilon_{it}$$

Методы борьбы с недостатками базы данных

- Сокращение выборки, принимая во внимание только импортирующие компании
- Рассмотреть отдельно по отраслям

Robot Adoption	Фиктивная переменная = 1, если компания, внедряющая робототехнику в своей компании
Employment	Занятость в компаниях
Labor Productivity	Измеряется как 1000\$ на одного работника
Sales per worker	Продажи компании в год, измеряемые в 1000\$
Revenue	Доход компании за год, измеряемый в 1000\$
TFP (Total Factor Productivity)	Общая факторная производительность фирмы (необходимо рассчитать дополнительно)
Exporter (>10%)	Фиктивный показатель =1, если экспорт товаров или услуг компании >10%
<i>Контрольные переменные</i>	
Number of employees (Size)	Разделены на несколько фиктивных переменных для контроля каждой категории: Микро - базовый уровень; Малая компания (15-100); Средняя компания (101-250 сотрудников); Крупная компания (>250 сотрудников)
Age	Разделены на несколько фиктивных переменных для контроля каждой категории относительно года создания предприятия
Industry	Контроль отрасли, в которой работает компания
Region	Контроль за регионом, в котором работает компания

Предварительные гипотезы

- Предварительные наблюдения показывают, что роботизация наиболее характерна для крупных предприятий (*Dauth et al. 2018*)

H1: Фирмы с более высокой производительностью и большим размером с большей вероятностью внедрят робототехнику.

- Крупнейшие фирмы располагают большими ресурсами и связями, которые могут помочь реализовать потенциал внедрения робототехники (*Bonfiglioli et al., 2020*)

H2: Внедрение робототехники способствует росту доходов крупнейших фирм, в то время как для небольших фирм этот эффект менее значителен.

- Экспортеры являются "лучшими" фирмами в экономике по показателям деятельности фирмы и обладают современными технологиями (*Strange & Zucchella, 2017; Ghadge et.al, 2020*)

H3: Фирмы-экспортеры с большей вероятностью внедрят робототехнику.

- Роботизация является важным источником роста производительности труда, особенно на начальных этапах (*Cette et al., 2021*).

H4: Внедрение робототехники ведет к повышению производительности труда.