ЭКОНОМИКА И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, 2024, том 60, № 3, с. 5–19

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Взаимосвязь результативности инновационной деятельности промышленных предприятий с показателями технологической новизны продукции

© 2024 г. Р.Т. Седунова, О.Г. Голиченко

Р.Т. Седунова,
ЦЭМИ РАН, Москва; e-mail: ravilyasedunova@yandex.ru

О.Г. Голиченко,
ЦЭМИ РАН, Москва; e-mail: golichenko@rambler.ru

Поступила в редакцию 26.07.2023

Авторы выражают благодарность к.т.н., с.н.с. ЦЭМИ РАН Петру Федоровичу Андруковичу за ряд ценных предложений, которые позволили значительно улучшить данную работу, а также за помощь в обработке статистических данных при поиске функциональной зависимости, аппроксимирующей один из участков инновационной кривой. Также благодарим анонимного рецензента, критические замечания которого позволили исправить ряд недостатков и недочетов работы и сделать изложение более четким и ясным.

Аннотация. В работе исследуется связь результативности инновационной деятельности российских предприятий промышленности с уровнем технологической новизны выпускаемой ими инновационной продукции. Для этого вводится инновационная функция, которая отображает зависимость «выхода (то есть результата инновационного процесса), от факторов, измеряемых затратами на процессные и продуктовые инновации. При анализе данной функции учитывается взаимосвязь между этими двумя видами затрат. Обсуждаются гипотезы относительно свойств инновационной функции. В качестве показателя технологической результативности используется отношение величины выпуска инновационной продукции к затратам ресурсов, необходимых для ее производства. Исследуется зависимость показателя результативности от затрат на инновации. Находятся точки локальных максимумов показателя результативности (локальных технологических оптимумов) для разных размерных классов российских промышленных предприятий. Показано, что существует взаимосвязь между результативностью инновационной деятельности и уровнем технологической новизны инновационной продукции. В качестве показателя уровня технологической новизны используется доля выпуска радикально новой во всей инновационной продукции. В результате анализа определено, что при приближении к технологическому оптимуму (по мере повышения показателя результативности инновационной деятельности) происходит смена ориентации инновационного производства с выпуска радикальной на выпуск инкрементальной инновационной продукции.

Ключевые слова: инновационный процесс, продуктовые и процессные инновации, зависимость выпуска инновационной продукции от затрат на инновации, инновационная функция, технологический оптимум, радикальные инновации.

Классификация JEL: O31, O47.

УДК: 330.341.

Для цитирования: **Седунова Р.Т., Голиченко О.Г.** (2024). Взаимосвязь результативности инновационной деятельности промышленных предприятий с показателями технологической новизны продукции // *Экономика и математические методы*. Т. 60. № 3. С. 5–19. DOI: 10.31857/S0424738824030015

ВВЕДЕНИЕ

Для исследования связи результативности инновационной деятельности российских предприятий промышленности с уровнем технологической новизны выпускаемой ими инновационной продукции необходимо установить зависимость результата («выхода») инновационной деятельности от необходимых факторов инновационного производства. Для этого в первом разделе вводится инновационная функция, отображающая эту зависимость.

В литературе известна модель функции, связывающей выпуск с факторами производства — производственная функция. Возникает вопрос, насколько концепция производственной функции

(даже с учетом технического прогресса) применима к описанию инновационной функции. Этот вопрос обсуждается в первом разделе работы.

Далее принимается во внимание существующее в литературе, посвященной инновациям, мнение о наличии связи между продуктовыми и процессными инновациями. В какой-то мере такая взаимосвязь напоминает связь между факторами эффективности производственных ресурсов неоклассической производственной функции, описываемой в литературе по индуцированным инновациям. Природа и свойства функциональной связи между процессными и продуктовыми инновациями, ее учет в инновационной функции, а также характеристики самой инновационной функции (с учетом этой связи) анализируются во втором разделе работы. Здесь же определяется зависимость технологического оптимума от рассматриваемых характеристик данной функции.

В третьем разделе излагается методология построения локальных одномерных инновационных функций, обладающих необходимыми свойствами, для российских предприятий промышленности. Методология построения апробируется на статистических данных, предоставляемых Росстатом РФ.

В четвертом разделе исследуются характеристики найденных технологических оптимумов. В частности, анализируется наличие взаимосвязи между близостью фирмы к технологическому оптимуму и избираемой фирмой инновационной стратегией.

1. ИННОВАЦИОННАЯ ФУНКЦИЯ

Нас будет интересовать *инновационная деятельность фирмы*, под которой понимается совокупность всех процессов внутри фирмы, результатом которых является выпуск продукции, обладающей свойствами технологической новизны. Будем рассматривать инновационный процесс как «черный» ящик со своими «входами» и «выходами» (Голиченко, 2016).

«Входы» и «выходы» производственного и инновационного процессов

Следует отметить, что «выходом» производственной функции является выпуск всей продукции соответствующих производственных единиц, в то время как в инновационной функции в качестве «выхода» рассматривается *инновационная продукция*, т.е. продукция, обладающая свойством технологической новизны.

«Входами» в производственную функцию служат такие производственные факторы, как труд, капитал, земля и предпринимательская деятельность. Иногда в качестве фактора производственной функции рассматривается фактор научно-технического прогресса (см., например, (Acemoglu, 2009, 2015)).

В производственной функции все факторы научно-технического прогресса, как правило, рассматриваются как источники процессных инноваций (Acemoglu, 2009). Что же касается «выхода» производственной функции, учитывающей научно-технический прогресс, то в нем специально не выделяется инновационной части продукции. Однако инновационный процесс гораздо шире, чем применение фирмой процессных инноваций. В первую очередь он заключается в создании продуктовых инноваций, которых характеризует смена качества выпускаемого продукта, а также проведение поддерживающих ее процессных инноваций (Clark, Fujimoto, 1992; Abernathy, William, James, 1978).

В инновационной функции «входами» служат два интегральных фактора: затраты на продуктовые и процессные инновации. Они включают затраты на достаточно широкий диапазон факторов (OECD, Eurostat, 2018): исследования и разработку новых продуктов, дизайн новых продуктов, приобретение машин и оборудования, связанных с созданием технологических инноваций, приобретение новых технологий, патентов, лицензий, промышленных образцов и полезных моделей, программных средств, а также инжиниринг, обучение и подготовку персонала, маркетинговые исследования, связанные с инновациями, и т.п.

Описание зависимости между «входами» и «выходом» инновационной функции

Перейдем к обсуждению свойств, которыми должна, на наш взгляд, обладать инновационная функция:

$$P = f(x, y), \tag{1}$$

где P — объем выпуска инновационной продукции; x — ресурсы, непосредственно направленные на создание продуктовых инноваций (измеряемые затратами на продуктовые инновации); y — ресурсы, направленные на создание процессных инноваций (измеряемые затратами на процессные инновации), поддерживающих инновации продуктовые.

Для удобства формального анализа примем, что инновационная функция является непрерывно дифференцируемой. Также будем считать, что ее первые частные производные по каждому интегральному фактору (виду затрат) положительны на интервале $(0, \infty)$, полагая, что, как и в случае неоклассической производственной функции, вовлечение каждой новой единицы фактора (затрат на него) приводит к увеличению объемов инновационной продукции.

Важным свойством неоклассической производственной функции является так называемое условие Инады (Inada) (Uzawa, 1963). Его содержательный смысл заключается в том, что условно «первая» единица капитала или труда, вовлекаемого в производственный процесс, высокопродуктивна, так как предельный продукт стремится к бесконечности. В то же время условно «последняя» единица вовлекаемого ресурса избыточна, а предельный продукт, возникающий в результате ее вовлечения, близок к нулю.

Для инновационной функции нельзя утверждать, что «первая» единица вовлекаемого инновационного ресурса высокопродуктивна, в силу большой неопределенности и высоких рисков, сопровождающих инновационный процесс на начальной стадии. Более того, можно считать, что «первая» единица вовлекаемого ресурса не приносит дохода и фактически направлена не на выпуск, а на организацию производства инновационной продукции, а так называемая последняя единица вовлекаемого инновационного ресурса приносит нулевой доход (точнее — нулевой объем инновационной продукции). Тогда для P_x и P_y — частных производных функции $P(x, y)$ по x и y для $x > 0$ и $y > 0$ — имеем аналог условия Инады:

$$\lim_{x\to 0} P_x(x,y) = 0, \quad \lim_{x\to \infty} P_x(x,y) = 0, \tag{2}$$

$$\lim_{y\to 0} P_y(x,y) = 0, \quad \lim_{y\to \infty} P_y(x,y) = 0. \tag{3}$$

Кроме того, допустим, что частные производные функции ограничены на интервале $(0, \infty)$ и положительны. В силу действия условий (2) и (3) естественно считать, что предельная производительность какого-либо инновационного ресурса при фиксации другого на одних интервалах положительной полуоси возрастает, а на других убывает. Иными словами, вместо закона убывающей доходности, действующего для неоклассической производственной функции, для инновационной функции предполагается действие закона смены монотонности доходности на $(0, \infty)$.

2. УЧЕТ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ПРОДУКТОВЫМИ И ПРОЦЕССНЫМИ ИННОВАЦИЯМИ

В литературе часто проводятся различия между продуктовыми и процессными инновациями. Под первыми обычно понимается введение (в производство или на рынок) нового продукта, под вторыми — инновации, связанные с уменьшением стоимости производства уже существующего продукта.

Более полное и точное определение этих типов инноваций, которого мы будем придерживаться ниже, находим в так называемом Руководстве Осло (OECD, Eurostat, 2018). Предлагается считать, что *продуктовые инновации* представляют собой внедренный на рынке новый или усовершенствованный продукт (товар, услугу), значительно отличающийся от продукта, производившегося ранее. Под *процессными инновациями* понимается внедрение нового или улучшенного бизнес-процесса, значительно отличающегося от соответствующего бизнес-процесса, применявшегося ранее (OECD, Eurostat, 2018).

Вопросам выяснения роли процессных инноваций и анализа взаимосвязи между продуктовыми и процессными инновациями посвящено много работ (Clark, 1985; Clark, Fujimoto, 1992; Abernathy, 1975; Abernathy, William, James, 1978; Damanpour, Aravind, 2006; Kraft, 1990). Так, согласно Кларку жизненные циклы продуктовых и процессных инноваций тесно взаимосвязаны. С одной стороны, продуктовые инновации стимулируют изменения в процессах, которые должны обеспечивать производство нового продукта. С другой стороны, процессные инновации способны запустить изменения в характеристиках выпускаемого продукта. Можно сделать вывод о том, что продуктовые инновации, а значит, и затраты на них, задают необходимый для их создания состав и масштабы процессных инноваций.

Следует также отметить, что и в теории производственной функции, и в литературе, посвященной *индуцированным инновациям*, также специально исследуется вопрос о наличии связи между различными факторами технического прогресса. Так, в работе (Kennedy, 1964) автор рассматривает взаимосвязь между темпами прироста коэффициентов эффективности производственных факторов — труда и капитала. Эти коэффициенты можно трактовать как факторы технического прогресса. Здесь речь идет о возможности замещения дополнительной единицы одного фактора технического прогресса единицей другого.

В настоящей работе полагается существование иной взаимосвязи между двумя характеристиками технического прогресса (более точно — *инновационного*): между затратами на продуктовые инновации и на процессные инновации, поддерживающие продуктовые. Эта связь описывает не процессы замещения факторов одного вида другими, а процессы их дополнения. Иными словами, будем считать, что каждая новая единица затрат на продуктовые инновации требует вовлечения дополнительных затрат на процессные инновации. Следуя этому правилу, примем:

$$y = \varphi(x), \tag{4}$$

$$\varphi(0) = 0. \tag{5}$$

Примем, что $\varphi(x)$ является непрерывно дифференцируемой функцией, имеет положительную первую производную при $x \in (0,\infty)$. Одновременно первая единица затрат на продуктовые инновации не требует значительных средств на поддерживающие их процессные инновации, т.е.

$$\lim_{x\to 0} \varphi'(x) = 0, \tag{6}$$

а при значительных объемах затрат на продуктовые инновации действует принцип «избыточности» затрат на процессные инновации:

$$\lim_{x\to \infty} \varphi'(x) = 0. \tag{7}$$

С учетом описанной взаимосвязи представим инновационную функцию как функцию лишь от затрат на продуктовые инновации $P = f(x, \varphi(x)) = P(x)$. Далее x будем называть инновационным ресурсом.

Характеристики инновационной функции

При исследовании процесса создания инновационной продукции нас будет интересовать средняя производительность инновационного ресурса

$$AP(x) = P(x)/x \tag{8}$$

и его предельная производительность

$$MP(x) = dP(x)/dx. \tag{9}$$

Будем считать, что чем выше значение средней производительности инновационного ресурса $AP(x)$, тем более эффективным (в смысле экономической отдачи инновационного ресурса) является инновационный процесс в точке x. Величину инновационного ресурса x_0, при котором достигается максимум $AP(x)$, назовем технологическим оптимумом инновационного процесса, или точкой максимальной отдачи процесса. Что же касается предельной производительности, то нетрудно заметить, что в силу предположений о характере зависимости (2), (3), (5)–(7) имеют место соотношения $\lim_{x\to 0} MP(x) = 0$ и $\lim_{x\to \infty} MP(x) = 0$.

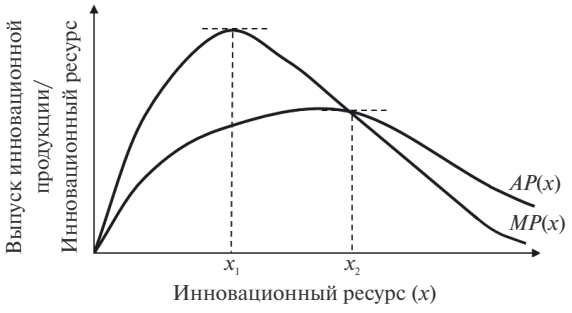

Рис. 1. Кривые зависимости средних (AP) и предельных (MP) продуктов от инновационного ресурса

Последние в известном смысле дублируют соотношения (2) и (3) при учете связи между процессными и продуктовыми инновациями. Их следствие состоит в том, что на действительной полуоси $(0,\infty)$ кривая $MP(x)$ имеет интервалы, на которых возрастание функции $MP(x)$ сменяется ее убыванием.

Обсудим поведение кривых $MP(x)$ и $AP(x)$, для рассматриваемой инновационной функции. Положим, что на искомых участках кривая $MP(x)$ имеет куполообразный вид (рис. 1). Причем в некоторой точке x_2 кривые $MP(x)$ и $AP(x)$

пересекаются и значения среднего и предельного продуктов совпадают. В этой точке $AP(x)$ достигает максимума.

Принимая описанные зависимости средних и предельных инновационных продуктов как данные, нетрудно установить вид функции выпуска инновационной продукции от инновационного ресурса. Действительно, принимая во внимание, что $MP(x)$ в произвольной точке x равно тангенсу угла наклона касательной к кривой $P(x)$ в точке x, а значение $AP(x)$ в точке x равно тангенсу угла наклона, составленного лучом, проведенным из начала координат к точке плоскости с координатами $(x, P(x))$, можно изобразить кривую выпуска инновационной продукции от инновационного ресурса (рис. 2). Все выше сказанное, и в частности вид кривой $P(x)$, позволяет предположить, что модель инновационной функции в предлагаемой выше интерпретации близка к некоторой сигмоидальной зависимости.

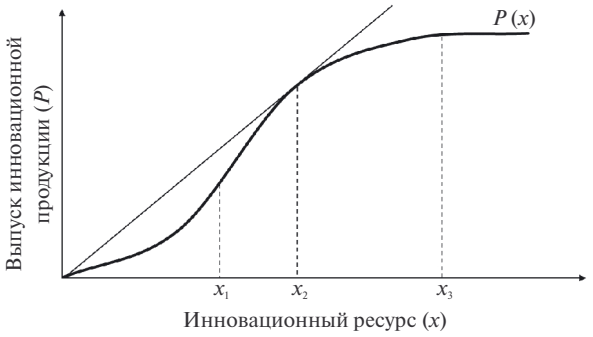

Рис. 2. Кривая зависимости выпуска инновационной продукции от инновационного ресурса

Далее будем считать, что инновационная функция на определенном участке затрат найдена, если удалось установить вид зависимости объемов инновационной продукции от выпуска, согласующийся с видом кривой рис. 2. После установления аналитического вида инновационной функции непосредственно вычисляются ее характеристики $AP(x)$ и $MP(x)$ и ищется точка пересечения соответствующих им кривых, т.е. локальный технологический оптимум.

3. МЕТОДОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ОДНОМЕРНЫХ ИННОВАЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НАХОЖДЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПТИМУМОВ

Источником статистических данных, используемых в работе, является информация, содержащаяся в «Сведениях об инновационной деятельности организации» (форма № 4-инновация), предоставленных в разрезе «группировки организаций в зависимости от численности работников». Кодировка используемых таблиц данной формы указана в табл. 1, содержание — в табл. 2–4.

К сожалению, доступные статистические данные не позволяют непосредственно определить «выходы» и «входы» инновационного процесса для конкретных промышленных предприятий. Однако это возможно для совокупностей предприятий, сгруппированных по размерным классам, состоящих из фирм, численность занятых на которых ограничена определенным диапазоном, задаваемым Росстатом. Предприятия группируются в следующие совокупности с числом занятых (человек): ≤ 49; 50–99; 100–199; 200–249; 250–499; 500–999; 1000–4999; 5000–9999; 10 000 и более.

Таблица 1. Перечень таблиц-источников статистических данных формы № 4-инновации

Показатель, используемый в работе	Кодировка таблицы	Название таблицы	Строка или столбец искомого показателя
Объем выпуска инновационной продукции	T7.1-T-2(5)	Объем инновационных товаров, работ, услуг организаций промышленного производства и сферы услуг (без НДС, акцизов и других аналогичных платежей), осуществлявших технологические инновации	Столбец 9
Затраты на продуктовые инновации	T8.2-T5	Затраты на технологические, маркетинговые и организационные инновации по видам деятельности организаций, осуществлявших технологические инновации	Строка 527
Число предприятий, осуществлявших технологические инновации	T5-T5	Число организаций, имевших завершенные инновации	Столбец 4

Таблица 2. Объем выпуска инновационной продукции, тыс. руб., 2013–2018 гг.

Численность работников предприятия, человек	Объем выпуска инновационной продукции					
	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Всего по РФ	2012 407 933	1 439 595 734	1 997 198 947	2 475 674 018	2 092 809 755	1 987 007 081
≤ 49	2 771 822	2 491 505	1 914 363	11 166 096	14 616 803	5 166 742
50–99	3 028 287	7 118 934	7 033 675	12 654 739	12 147 333	5 870 024
100–199	30 823 512	19 691 667	36 381 223	29 839 168	36 685 566	53 633 726
200–249	10 049 784	15 294 488	11 173 079	18 486 274	21 115 087	28 483 776
250–499	51 961 198	109 842 964	139 916 501	106 461 660	109 588 487	83 333 600
500–999	74 305 061	80 532 940	143 509 174	161 792 477	200 087 197	188 766 589
1 000–4 999	1 289 728 107	687 494 492	1 089 008 428	1 540 606 389	950 221 420	899 756 696
5 000–9 999	152 277 520	203 110 613	313 018 656	272 599 654	305 655 967	391 260 347
10 000 и более	397 462 642	314 018 132	255 243 848	322 067 562	442 691 896	330 735 582

Таблица 3. Затраты на продуктовые инновации, тыс. руб., 2013–2018 гг.

Численность работников предприятия, человек	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Всего по РФ	511 111 005	612 249 064	600 394 721	658 529 539	753 480 974	783 866 365
≤ 49	3 542 170	4 061 337	3 755 694	3 615 814	5 183 401	4 935 661
50–99	3 836 844	5 676 321	6 584 040	5 982 571	5 511 289	8 278 611
100–199	18 598 734	11 902 480	17 459 656	23 537 928	27 435 633	15 981 634
200–249	7 144 258	9 166 925	7 344 425	15 038 053	13 381 815	16 566 839
250–499	38 756 799	41 491 444	37 391 030	46 486 653	57 117 847	44 221 173
500–999	49 703 719	78 353 861	98 148 664	71 959 125	95 404 711	88 139 101
1 000–4 999	242 363 547	327 279 419	271 195 536	335 840 537	334 895 964	374 332 917
5 000–9 999	102 828 873	103 178 706	122 298 883	116 133 521	113 662 532	117 316 825
10 000 и более	44 336 061	31 138 573	36 216 794	39 935 337	100 887 783	114 093 605

Таблица 4. Число предприятий, осуществлявших технологические инновации, ед., 2013–2018 гг.

Численность работников предприятия, человек	Число предприятий					
	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Всего по РФ	4392	4452	4437	4662	4499	4725
≤ 49	556	606	615	710	668	812
50–99	374	379	392	425	400	450
100–199	718	738	771	798	769	772
200–249	301	310	309	325	298	298
250–499	785	805	784	817	778	800
500–999	688	670	652	674	697	707
1 000–4999	833	809	782	779	759	762
5 000–9999	99	96	96	92	90	87
10 000 и более	38	39	36	42	40	37

Исходя из имеющихся в открытом доступе данных (см. табл. 2–4), представляется рациональным использовать концепцию типичного представителя, или репрезентативного агента, который рассматривается как некоторое «усредненное» предприятие в данном размерном классе. Для того чтобы ввести такого «представителя», каждый экономический показатель, соответствующий размерному классу, делится на число предприятий в нем. Введение «представителя» означает, что (по умолчанию) делается предположение об однородности инновационных предприятий класса[1]. При этом характеристики, полученные для представителей каждого размерного класса, значительно разнятся. В этом проявляется разнородность совокупности рассматриваемых однородных размерных классов.

При установлении количественных соотношений между объемом инновационной продукции и затратами на продуктовые инновации учитывается наличие временного лага между приложенными усилиями (в данном случае — между затратами на продуктовые инновации) и результатом (инновационной продукцией). Для этого производилось усреднение значения указанных показателей за 6 лет (в период с 2013 по 2018 г.). Данные, представленные ниже, указаны в ценах 2018 г.

Полученные точки с координатами (x, y), равными средним затратам на продуктовые инновации и среднему объему выпуска инновационной продукции, соединяются плавной кривой, которую мы назовем инновационной кривой. При этом полученная инновационная кривая не является общей, универсальной для всех размерных классов, а представляет собой объединение совокупности локальных инновационных кривых. Следует отметить, что для используемого массива данных найденная кривая описывает взаимно однозначную зависимость между затратами на продуктовые инновации и выпуском инновационной продукции, а каждая ее часть характеризует действие локальной инновационной функции на определенном интервале затрат. Признаком перехода к новой технологии, т.е. к новой локальной инновационной функции, является смена убывающей доходности на возрастающую на стыке соответствующих интервалов затрат. Существование подобной технологической трансформации скорее всего связано с тем, что классы предприятий, типичные представители которых имеют затраты на соответствующих интервалах, привязаны к определенным отраслям производства или видам экономической деятельности, требующих применения разных инновационных технологий. Проверить данную гипотезу, к сожалению, не удается, поскольку предоставляемые в открытом доступе статистические данные не позволяют непосредственно ассоциировать размерные классы с конкретными видами экономической деятельности.

Необходимо отметить, что в силу сказанного переход предприятий из одного размерного класса в другой затруднен для разделенных участков кривой, соответствующих разным локальным инновационным функциям (т.е. разным видам экономической деятельности). Это означает, что определенные выше типичные представители достаточно жестко привязаны к определенным интервалам затрат.

Алгоритм нахождения технологического оптимума

Для нахождения технологического оптимума для российских инновационных предприятий в промышленности применяется следующий алгоритм.

1. На первом этапе, используя статистические данные, устанавливается примерный вид инновационной кривой $P(x)$. На плоскости, по горизонтальной оси которой откладываются затраты на продуктовые инновации, а по вертикальной — значения объемов инновационной продукции, плавной линией соединяются соответствующие точки (x, y).

2. Далее приблизительно определяются интервалы, на которых происходит смена возрастающей доходности инновационного ресурса на убывающую.

3. На каждом интервале осуществляется построение в явном виде локальной инновационной функции.

4. Для каждой локально определенной инновационной функции аналитически вычисляются $MP(x)$ и $AP(x)$.

5. Для полученных локальных $AP(x)$ и $MP(x)$ ищутся точки их пересечения. Анализируется положение локальных максимумов $AP(x)$.

[1] Здесь и далее под инновационными предприятиями понимаются предприятия, осуществлявшие технологические инновации.

Для поиска аналитического вида инновационной кривой будем использовать логистическую функцию в виде $P(x) = a / \left(1 + e^{-b(x-c)}\right)$, где a, b и c — некоторые положительные константы.

Следует отметить, что концепция сигмоидальных (S-образных) кривых занимает заметное место в литературе, описывающей инновационные процессы. Обычно эти работы посвящены жизненному циклу инновационного продукта, в частности его диффузии. К ним следует прежде всего отнести основополагающие работы Р. Фостера (Фостер, 1987) и Е. Роджерса (Rogers, Singhal, Quinlan, 2014), нашедшие широкий отклик среди исследователей (см., например, Сахал, 1985; Варшавский, 1984; Дубинина, 2018; Щепина, 1990). В нашем случае сигмоидальная кривая возникает как способ описания производства, т.е. начала жизненного цикла целой совокупности продуктов, воплощающих технологические изменения.

Инновационная кривая российских предприятий промышленности

Выполняя предложенный алгоритм, был найден примерный вид инновационной кривой российских инновационных предприятий промышленности (рис. 3).

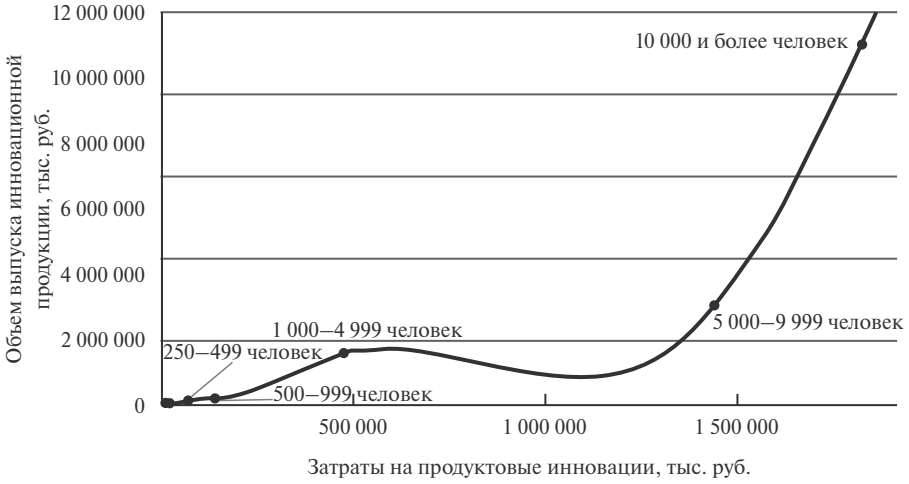

Рис. 3. Кривая зависимости объема инновационной продукции от затрат на продуктовые инновации для российских промышленных предприятий, 2013–2018 гг.

Эта гладкая кривая получена интерполяцией кубическим сплайном[2]. Кривая позволяет выделить две группы размерных классов и два диапазона затрат, для которых предложенная теоретическая модель инновационной функции локально применима. В первую группу вошли размерные классы с числом занятых до 999 человек, во вторую группу — от 500 до 4999 человек. Размерный класс с 500–999 занятыми является пограничным для двух данных групп и учитывается дважды.

Что касается наиболее крупных предприятий (с 5000 и более занятыми), то они, по сути являясь конгломератом неоднородных производств, противоречат гипотезе об однородности производства. Иными словами, введение типичного представителя для них является некорректным. В дальнейших рассуждениях будем избегать анализа поведения подобных предприятий.

Инновационная функция предприятий с числом занятых до 999 человек

Рассмотрим подробнее первую совокупность предприятий — с числом занятых до 999 человек. На рис. 4 изображена инновационная кривая, действующая на соответствующем интервале затрат, которая задается формулой $P(x) = 349990{,}2583 / \left(1 + 24{,}94061434\, e^{-0{,}000053x}\right)$. Она получена в результате непосредственной настройки сигмоидальной модели инновационной функции, а именно логистической функции, аппроксимирующей значения в точках типичных представителей на выделенном диапазоне затрат методом наименьших квадратов. В силу того что крайняя точка типичного представителя с 500–999 занятыми является граничной и принадлежит двум интервалам затрат, допускается большее отклонение кривой от данной точки, чем от других. Коэффициент детерминации для такой модели составляет 0,9966 (без учета крайней точки).

[2] Использовался кубический сплайн SRS1 Cubic_Spline for Excel (https://www.srs1software.com/SRS1CubicSplineForExcel.aspx).

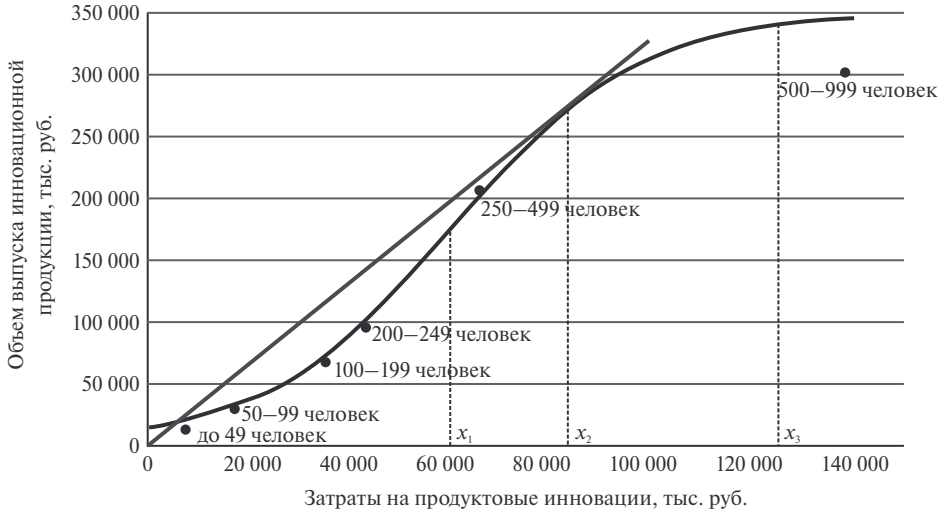

Рис. 4. Возможная инновационная кривая для российских промышленных предприятий с числом занятых до 999 человек, 2013–2018 гг.

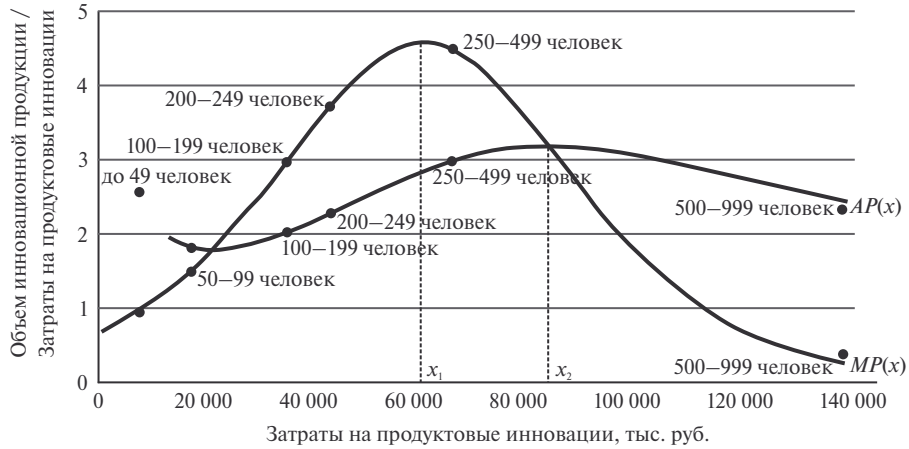

Рис. 5. Кривые зависимости средних и предельных продуктов от затрат на продуктовые инновации для российских предприятий промышленности с числом занятых менее 999 человек, 2013–2018 гг.

На рис. 4 также отмечены точки, соответствующие типичным представителям размерных классов.

Для полученной функциональной зависимости «выхода» инновационного производства от инновационного ресурса $P(x)$ были найдены ее производная и зависимость средней производительности от инновационного ресурса (рис. 5).

Из графика видно, что локальный технологический оптимум для данной группы размерных классов достигается при среднегодовых затратах на продуктовые инновации около 83 млн руб. Величина локального технологического оптимума при этом — около 3,2. Наиболее близким размерным классом к локальному технологическому оптимуму является класс предприятий с числом занятых от 250 до 499 человек.

Инновационная функция предприятий с числом занятых более 500 человек

Что касается второго интервала затрат, на который приходятся три размерных класса с числом занятых более 500 человек, то и здесь настройка сигмоидальной зависимости инновационной функции, точнее — логистической, осуществлялась вдоль кривой, полученной методом кубического сплайна (см. рис. 3).

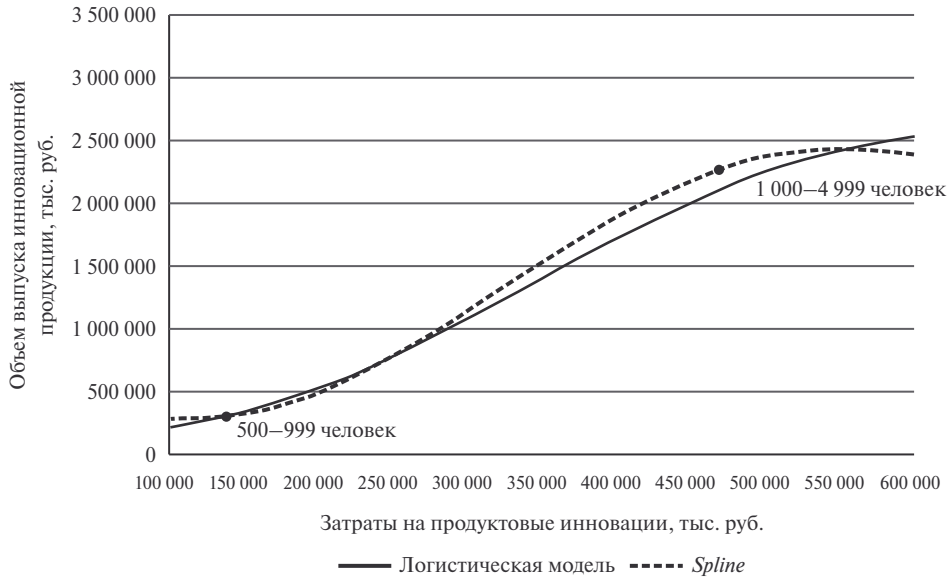

Рис. 6. Возможная инновационная кривая для российских промышленных предприятий с числом занятых более 500 человек, 2013–2018 гг.

Для определения параметров этой функции достаточно определить ее значения в точках, близких к асимптотам (т.е. близких к ее минимуму и максимуму) и точке перегиба. Поэтому за первые две точки примем точки локальных максимума и минимума инновационной кривой, имеющих следующие координаты: $x_{min} = 138\,302$, $y_{min} = 300339$; $x_{max} = 552\,000$, $y_{max} = 2\,428133$, а координаты точки перегиба в силу симметричности логической функции можно найти из соотношений $x = 0{,}5\left(x_{min} + x_{max}\right)$, $y = 0{,}5\left(y_{min} + y_{max}\right)$.

В результате искомая логистическая функция примет вид

$$P(x) = 2728472 / \left(1 + 32{,}6677\,\mathrm{e}^{-0{,}00001010489x}\right). \tag{10}$$

Две возможные инновационные кривые, одна из которых получена методом кубического сплайна, а вторая отражает найденную зависимость в виде логистической функции (10), показаны на рис. 6.

Далее, использовав аналитическое выражение инновационной функции (10), были получены зависимости средних и предельных продуктов от инновационного ресурса (рис. 7). Локальный

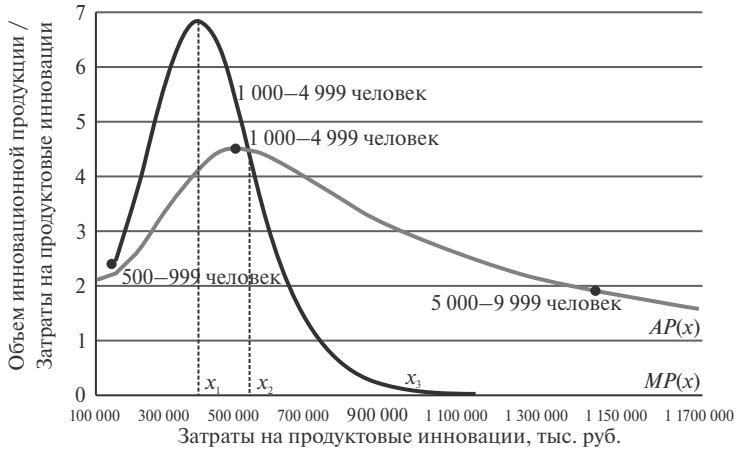

Рис. 7. Кривая зависимости средних и предельных продуктов от затрат на продуктовые инновации для российских предприятий промышленности с числом занятых более 500 человек, 2013–2018 гг.

технологический оптимум данной группы размерных классов достигается при среднегодовых затратах на продуктовые инновации около 575 млн руб. Величина оптимума составляет 3,8, оптимум достигается вблизи размерного класса предприятий с 1000–4999 занятыми.

В силу малого числа точек для аппроксимации инновационной кривой вид (10) локальной инновационной функции весьма приблизительный. Однако если считать, что гипотезы, сформулированные в предыдущих частях работы, для этой функции выполняются, то можно принять, что кривые, приведенные на рис. 7, качественно верно характеризуют ситуацию и позволяют достаточно адекватно судить об особенностях инновационного поведения российских промышленных предприятий данного класса.

4. АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ

Полученные кривые для двух групп размерных классов предприятий (инновационная кривая; кривая средней производительности инновационного ресурса; кривая предельной производительности инновационного ресурса) соответствуют предполагаемому виду кривых (см. рис. 1–2). Иными словами, удалось выделить два интервала затрат, на которых подтверждается гипотеза о смене участков возрастающей и убывающей доходности. Определены точки локальных технологических оптимумов и размерные классы, наиболее близкие к ним. Первый из локальных технологических оптимумов находится в окрестности размерного класса 250–499 человек, второй — вблизи размерного класса с 1000–4999 занятыми. Значения максимумов различаются незначительно (3,2 и 3,8 соответственно).

Влияние инновационной стратегии предприятий на близость к технологическому оптимуму

Интерес представляет ответ на вопрос, зависит ли инновационная стратегия фирмы от ее близости к технологическим оптимумам.

Напомним, что инновационная продукция делится по степени технологической новизны на значительно технологически улучшенную продукцию, являющуюся результатом существенных изменений уже известной продукции на рынке, и продукцию, не имеющую аналогов на рынке (OECD, Eurostat, 2018). Первую категорию продукции относят к инкрементальным инновациям, а вторую — к радикальным (Leiferet al., 2000).

В качестве инновационных стратегий фирмы будем рассматривать: выпуск инкрементальных и выпуск радикальных инноваций. В реальности обычно фирмы комбинируют эти стратегии, поэтому в качестве показателя ориентации инновационной стратегии фирмы на создание того или иного вида инновации, будем использовать долю выпуска радикальных инноваций в общем объеме выпуска инновационной продукции.

Для расчета этого показателя дополнительно к данным из табл. 2–4 использовались также сведения, указанные в табл. 6–7.

Таблица 6. Источник статистических данных об объеме выпуска радикальных инноваций Формы № 4-инновации

Показатель, используемый в работе	Кодировка таблицы	Название таблицы	Строка или столбец
Объем выпуска радикальных инноваций	Т7.4–Т-2(5)	Объем инновационных товаров, работ, услуг организаций промышленного производства и сферы услуг (без НДС, акцизов и других аналогичных платежей), новых для рынка сбыта организации, осуществлявших технологические инновации	Столбец 6

Таблица 7. Объем выпуска радикальных инноваций, тыс. руб.

Численность работников предприятия, человек	Объем выпуска радикальных инноваций					
	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Всего по Российской Федерации	327 542 238	333 062 444	310 850 891	354 444 002	537 775 461	416 246 640
≤ 49	2 178 773	2 324 479	1 516 392	10 190 815	13 362 693	3 000 069
50–99	1 539 281	1 932 898	1 753 155	3 774 241	10 574 195	2 856 847

Окончание таблицы 7

Численность работников предприятия, человек	Объем выпуска радикальных инноваций					
	2013	2014	2015	2016	2017	2018
100–199	4 718 905	6 826 183	12 541 484	7 014 568	20 223 168	18 784 490
200–249	3 682 363	2 699 750	2 189 179	6 169 087	7 202 798	8 742 452
250–499	19 948 715	26 367 327	32 955 473	19 475 113	47 026 503	30 261 341
500–999	9 239 792	27 401 741	29 311 849	71 476 841	95 897 514	43 330 306
1 000–4 999	92 106 760	131 086 931	131 054 051	172 136 925	185 994 719	192 903 912
5 000–9 999	19 670 933	95 012 969	53 002 831	40 968 023	38 028 501	57 145 553
10 000 и более	174 456 717	39 410 166	46 526 478	23 238 389	119 465 371	59 221 671

Для ответа на поставленный вопрос совместим на одном графике кривую среднего инновационного продукта $AP(x)$ и гистограммы доли выпуска радикальной технологически-инновационной продукции для типичных представителей различных размерных классов (рис. 8).

Анализ проводится для типичных представителей двух совокупностей размерных классов, упомянутых выше. Из данных на рис. 8 видно, что самые малые предприятия с числом занятых до 49 человек обладают наиболее высоким показателем доли радикальных инноваций: почти 87% выпускаемой инновационной продукции является новой для рынка. При увеличении численности занятых доля новой для рынка продукции снижается. Для предприятий, на которых занято от 50 до 99 человек, данный показатель вдвое меньше по сравнению с самым малым классом предприятий по численности работников и составляет 44%; для предприятий с числом занятых от 100 до 199 человек — 32,6%, а для предприятий, на которых работают от 200 до 249 человек и от 250 до 499 человек, доля новой для рынка продукции равна 28,3 и 29,4% соответственно.

Получаем эмпирическую закономерность, которая показывает, что чем ближе размерный класс предприятия к локальному технологическому оптимуму, т.е. максимуму средней производительности инновационного ресурса, тем его стратегия менее ориентирована на создание радикальных инноваций. Аналогичная эмпирическая зависимость наблюдается и для второй совокупности размерных классов.

Рис. 8. Доля новой для рынка продукции и кривая среднего инновационного продукта для типичных представителей предприятий с числом занятых до 999 человек, 2013–2018 гг. (слева — по вертикали гистограмма, справа — кривая среднего инновационного продукта $AP(x)$; по горизонтали — объем затрачиваемого инновационного ресурса)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основной задачей работы являлось исследование зависимости технологической результативности инновационных производств от затрат на создание инновационной продукции. Для решения задачи было введено понятие «инновационная функция», в рамках которого инновационный процесс рассматривался как «черный» ящик со «входами» (затратами на процессные и продуктовые инновации) и «выходом» (инновационной продукцией). В этой функции, в отличие от неоклассической производственной функции с учетом научно-технического прогресса, «выходом» служит не общий объем отгруженной продукции, а выпуск инновационной продукции. «Входами» в инновационную функцию являются как традиционные производственные факторы, связанные непосредственно с производством инновационной продукции, так и специфичные инновационные факторы, формирующие затраты на процессные и на продуктовые инновации.

Отличия во «входах» и «выходах» двух функций и порождают иные требования к описанию функциональной зависимости между «выходом» и «входами» инновационной функции. Выполнение этих требований приводит к необходимости замены гипотезы убывающей доходности (неоклассическая производственная функция) предположением о существовании и смене участков возрастающей и убывающей доходности инновационной функции.

Был исследован вопрос о связи двух «входов» в инновационную функцию: процессных и продуктовых инноваций. Опираясь на ряд литературных источников, принята гипотеза о наличии связи между продуктовыми и поддерживающими их процессными инновациями и введена функция зависимости процессных инноваций от задающих их продуктовых. Учет этой зависимости позволил перейти к однофакторной инновационной функции, «выход» которой зависит только от затрат на продуктовые инновации. Показано, что в рамках сделанных предположений моделью такой функции является сигмоида.

Полученная модель инновационного процесса использовалась для нахождения точек технологического оптимума инновационных производств России. Для построения инновационной функции использовалось разделение инновационно активных предприятий по классам размерности. Для каждого размерного класса предприятий определялся типичный представитель, характеризующийся усредненными по данному размерному классу показателями.

Найдены две совокупности размерных классов предприятий, для которых предложенная модель инновационной функции оказалась применимой. Для каждой совокупности были установлены точки локальных технологических оптимумов и построены кривые зависимостей среднего и предельного инновационного продуктов от инновационного ресурса.

Получен ответ на вопрос о наличии взаимосвязи между инновационными стратегиями фирм (выпуска инкрементальных или радикальных инноваций) и их близостью к технологическому оптимуму. Оказалось, что по мере приближения фирмы к технологическому оптимуму меняется ориентация инновационного производства фирмы с выпуска радикальной на создание инкрементальной инновационной продукции. Если считать, что показатель технологического оптимума характеризует отдачу от инновационной деятельности, а показатель «радикальности» отображает ее разнообразие, то полученный результат можно трактовать как подтверждение известной в литературе об инновациях закономерности: рост разнообразия результатов инновационной деятельности ведет к падению отдачи, а рост отдачи приводит к падению разнообразия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

Варшавский А.Е. (1984). Научно-технический прогресс в моделях экономического развития. М.: Финансы и статистика. [**Varshavsky A.E.** (1984). *Technological progress in economic development models*. Moscow: Finansy i Statistika (in Russian).]

Дубинина М.Г. (2018). Моделирование диффузии прогрессивных технологий (на примере технологий фиксированного и мобильного широкополосного подключения к интернету) // *Вестник ЦЭМИ РАН (электронная публикация)*. № 2. Режим доступа: https://cemi.jes.su/s111111110000029-4-1/ [**Dubinina M.G.** (2018). Modeling the diffusion of advanced technologies (using the example of fixed and mobile broadband Internet connection technologies. *Vestnik CEMI RAS*, 2. Available at: https://cemi.jes.su/s111111110000029-4-1/ (in Russian).]

Голиченко О.Г. (2016). Основные типы процессов и ресурсов в национальной инновационной системе // *Инновации*. № 7 (213). С. 50–60. [**Golichenko O.G.** (2016). The general types of processes and resources in national innovation systems. *Innovations*, 7 (213), 50–60 (in Russian).]

Сахал Д. (1985). Технический прогресс: концепции, модели, оценки. М.: Финансы и статистика. [**Sahal D.** (1985). *Technical progress: Concepts, models, assessments*. Moscow: Finansy i Statistika (in Russian).]

Фостер Р. (1987). Обновление производства: атакующие выигрывают. М.: Прогресс. [**Foster R.** (1987). *Production update: Attackers win*. Moscow: Progress (in Russian).]

Щепина И.Н. (1990). Модели диффузии и замещения нововведений. Обзор литературы. М.: ЦЭМИ, АН СССР. [**Schepina I.N.** (1990). *Models of diffusion and substitution of innovations. Literature review*. Moscow: CEMI, USSR Academy of Sciences (in Russian).]

Abernathy W. (1975). A dynamic model of process and product innovation. *Omega*, 3, 639–656.

Abernathy W., William J., James M. (1978). Patterns of industrial innovation. *Technology Review*, 80, 7, 40–47.

Acemoglu D. (2009). *Introduction to modern economic growth*. Princeton: Princeton university press.

Acemoglu D. (2015). Localised and biased technologies: Atkinson and Stiglitz's new view, induced innovations, and directed technological change. *The Economic Journal*, 125, 583, 443–463.

Clark K. (1985). The interaction of design hierarchies and market concepts in technological evolution. *Research Policy*, 14, 5, 235–251.

Clark K., Fujimoto T. (1992). Product development and competitiveness. *Journal of the Japanese and International Economies*, 6, 2, 101–143.

Damanpour F., Aravind D. (2006). Product and process innovations: A review of organizational and environmental determinants. In: *Innovation, science, and industrial change: A research handbook*. Oxford: Oxford University Press, 38–66.

Kennedy C. (1964). Induced bias in innovation and the theory of distribution. *The Economic Journal*, 74, 295, 541–547.

Kraft K. (1990). Are product and process innovations independent of each other? *Applied Economics*, 22, 8, 1029–1038.

Leifer R., McDermott C., O`Connor G., Peters L., Rice M., Veryzer R. (2000). *Radical innovation: How mature companies can outsmart upstarts*. Boston, MA: Harvard Business Press.

OECD, Eurostat (2018). Oslo manual 2018: Guidelines for collecting, reporting and using data on innovation. Paris: OECD. DOI: 10, 24132764

Rogers E.M., Singhal A., Quinlan M.M. (2014). Diffusion of innovations. In: *An integrated approach to communication theory and research*. N.Y.: Routledge, 432–448.

Uzawa H. (1963). On a two-sector model of economic growth II. *The Review of Economic Studies*, 30 (2), 105–118.

Connection of innovation activity effectiveness and technological novelty of innovation output

© 2024 R.T. Sedunova, O.G. Golichenko

R.T. Sedunova,
Central Economics and Mathematics Institute, RAS, Moscow, Russia; e-mail: ravilyasedunova@yandex.ru

O.G. Golichenko,
Central Economics and Mathematics Institute, RAS, Moscow, Russia; e-mail: golichenko@rambler.ru

Received 26.07.2023

The authors express gratitude to P.F. Andrukovich, Candidate of Sciences (Techn.), Senior researcher at CEMI RAS, for a number of valuable suggestions that made possible to significantly improve this work, as well as for assistance in processing statistical data. We also thank the anonymous reviewer, whose critical comments made possible to correct a number of shortcomings of the work and make the presentation clearer and more understandable.

Abstract. The paper studies the relationship between the innovation performance of Russian industrial enterprises and the degree of technological novelty of their innovative products. For this purpose, the innovation function is introduced. That function reflects the dependence of the "output" of the innovation process on its factors measured by the costs of process and product innovations. Hypotheses about the properties of this function are discussed. The relationship between the two types of innovation costs is considered. As an indicator of technological efficiency the ratio of the value of innovative products to the innovative resource costs is used. The dependence of the performance indicator on innovation costs is investigated. The points of local maxima (local technological optimum) of the performance indicator for the size classes of Russian industrial enterprises are found. It is shown that there is a relationship between the effectiveness of innovative activity and the degree of technological novelty of innovative products. As an indicator of the degree of technological novelty the share of the innovative products new to the market in all innovative products is used. It was established that there is a change in the trend of innovative production from the production of radical to incremental innovative products when approaching the technological optimum.

Keywords: innovation process, product and process innovations, dependence of innovation output and the costs of innovation, innovation function, technological optimum, radical innovations.

JEL Classification: O31, O47.

UDC: 330.341.

For reference: **Sedunova R.T., Golichenko O.G.** (2024). Connection of innovation activity effectiveness and technological novelty of innovation output. *Economics and Mathematical Methods*, 60, 3, 5–19. DOI: 10.31857/S0424738824030015 (in Russian).