

ОПЫТ НОРМАТИВНОЙ ОЦЕНКИ УРОВНЕЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФУНКЦИЙ

Я. П. ГЕРЧУК

(МОСКВА)

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В настоящей статье излагается опыт использования модели производственных функций [1], широко применяемой на западе в макроэкономических исследованиях (эта модель известна также под названием формулы Кобба — Дугласа [2]) для решения практически важной заводской задачи — оценки сравнительных уровней производительности труда в нескольких цехах, выпускающих однородную продукцию в различных производственных условиях. Речь идет, в частности, о кузнечных цехах автомобильных заводов: все они выпускают поковки для автомобилей, но определять производительность труда в них по выпуску продукции в килограммах на одного рабочего в единицу времени было бы неправильно, так как объективно этот выпуск не должен быть одинаковым во всех цехах. Так, кузнечный цех завода малолитражных автомобилей изготавливает мелкие поковки, которых в 1 т около 1250 шт., а кузнечный цех завода тяжелых грузовиков кует аналогичные детали, но крупного развеса, которых в 1 т всего около 300 шт. Ясно, что при прочих равных условиях требовать от этих цехов одинаковой производительности труда в килограммах на 1 чел.-час было бы неправильно; этим мы ставили бы в предпочтительное положение второй из этих цехов. Разнятся в сравниваемых цехах и другие условия производства, не зависящие от них и существенно отражающиеся на показателях производительности труда. Например, масштаб выпуска, определяющий степень серийности производства, частоту смены деталей на рабочих местах и т. п., также существенно влияет на показатель производительности труда в сравниваемых цехах в килограммах на 1 чел.-час: он будет при прочих равных условиях выше в цехе с выпуском 10 000 комплектов поковок в месяц, чем в цехе с выпуском 2500 комплектов таких же поковок.

Как найти единый измеритель относительного уровня производительности труда в сравниваемых цехах, в котором были бы объективно учтены указанные различия производственных условий? Ответ на этот вопрос нужен для ряда практических надобностей: оценки проектов новых цехов с точки зрения достигнутого в них уровня производительности труда; оценки итогов социалистического соревнования между цехами; планирования производительности труда в них.

Однако в работах по производительности труда этой проблеме уделяется совершенно недостаточно внимания. В большинстве случаев дело не идет дальше классификации факторов производительности труда.

Задача состоит в том, чтобы:

а) установить, какие факторы или условия производства в наибольшей степени определяют различия в уровне производительности труда в

одноименных производственных цехах — в данном случае в кузнечных цехах автозаводов, и

б) объективно оценить характер и степень зависимости уровня производительности труда в этих цехах от указанных факторов.

В решении первой части задачи — отбора факторов, определяющих различия в уровне производительности труда в однородных кузнечных цехах, т. е. в цехах, изготавливающих сравнительно одинаковую продукцию в технологически похожих условиях, — наиболее существенным оказывается, в соответствии с целью исследования, отделить факторы внешнего для цеха характера от внутрицеховых условий, находящихся в сфере воздействия самого цеха. Так, изучая производительность труда с точки зрения резервов ее повышения, мы должны обращать наибольшее внимание на такие факторы, как усовершенствование технологического процесса в том или ином отношении, внедрение передовых методов организации труда и рабочего места и другие организационно-технические условия, воздействуя на которые, можно добиваться повышения производительности труда. При решении же задачи нормативной оценки уровней производительности труда, фактически достигнутых в разных цехах, надо учесть и элиминировать различия внешних, не зависящих от самих цехов производственных условий и тем поставить их в одинаковые условия или привести (условно) к равным внешним условиям.

Каковы же эти внешние для цехов, не зависящие от них условия или факторы? По нашему мнению, ими можно считать только такие условия, которые связаны с характером самого производственного задания. Это в первую очередь — конструктивно-технологические особенности заданных на изготовление изделий и масштабы их выпуска. При этом очень существенно для исследования найти такие измерители или параметры изделий и масштабов их производства, которые достаточно надежно характеризовали бы производственное задание со стороны его влияния на уровень производительности труда, т. е. отражали бы наиболее вероятные линии связи между характером производственного задания и производительностью труда.

Конструктивно-технологические особенности изделий оказывают существенное влияние на условия производства и производительность труда. В машиностроении важнейшую роль играют, по-видимому, такие показатели, как общий вес изделия и развес деталей, из которых оно собирается; степень сложности деталей; класс точности и т. п. Эти особенности изделия существенно влияют на производительность труда, но характер данной зависимости и ее количественное выражение пока мало изучены. В условиях автомобильных кузниц можно не учитывать различий в степени сложности и точности деталей, приняв их приблизительно одинаковыми для всех цехов; но при сравнениях более широкого масштаба эти признаки изделия обязательно надо было бы включить в число факторов, определяющих уровень производительности труда.

Влияние масштаба производства на уровень производительности труда имеет довольно сложный характер; оно связано с изменениями типа производства, степени его специализации или серийности и т. п. Все эти особенности должны быть учтены при установлении измерителей масштаба производства.

Вторая (важнейшая) часть задачи — объективная оценка характера и степени зависимости уровня производительности труда от указанных факторов — требовала нахождения такого метода, при помощи которого можно было бы эту зависимость измерить. В качестве эвристической гипотезы нами была принята возможность выразить эту зависимость в виде формулы степенной функции, при помощи которой записываются так на-

зываемые уравнения эластичности, выражающие зависимость относительных изменений какого-либо показателя от относительных же изменений ряда факторов, принимаемых за аргументы. Уравнения эластичности обычно выражаются в виде степенной функции вида $y = x^n$, где y — относительные изменения изучаемого показателя, x — относительные изменения фактора, а n — показатель степени, характеризующий изучаемую зависимость или эластичность. В формуле Кобба — Дугласа ряд таких уравнений эластичности объединен в одной формуле типа $y = x_1^{n_1} x_2^{n_2} \dots x_i^{n_i} \dots x_h^{n_h}$.

В интересующем нас случае изучения уровня производительности труда как функции действующих на него внешних факторов надо принять за показатели x_i относительные изменения этих факторов (развеса деталей, масштаба выпуска продукции), принимаемых за аргументы, за y — соответствующие относительные изменения производительности труда и n — постоянные коэффициенты — показатели степени, характеризующие изучаемую зависимость значения переменной y от значения аргумента x_i . Конечно, принятие этой гипотезы подлежало строгому обоснованию. Но априорные соображения и опыт применения ее при решении других аналогичных задач указывали на достаточную вероятность плодотворности этого пути и в данном случае.

Степенная функция $y = x^n$ при любом основании $x > 0$ является важнейшей элементарной функцией. Она выражает постоянство связи относительных изменений двух переменных величин — независимой x и зависимой y — при любых абсолютных их значениях. Это само по себе определяет широкую (можно сказать, универсальную) применимость этой функции для описания зависимости относительных изменений двух величин, если речь идет об устойчивых связях, сохраняющих свое значение при длительных изменениях абсолютных уровней этих величин. В нашей задаче речь идет как раз о закономерных связях относительных изменений факторов и результатов процесса.

Заманчивым свойством степенной функции в применении к решаемой нами задаче является возможность сведения в единую формулу влияния на производительность труда многих факторов, действующих независимо друг от друга, если известны формулы зависимости изучаемого результата от каждого из факторов в отдельности, как это и отражено в формуле Кобба — Дугласа.

Применение формул степенной зависимости в приведенном выше виде для характеристики зависимости изучаемых сложных явлений от нескольких факторов не ново. Так, в технике давно уже делались попытки применить функции степенного вида для характеристики эмпирических зависимостей в многофакторных процессах. Например, в теории резания металлов еще в 1901 г. американский инженер Ф. Тейлор предложил свою знаменитую линейку для расчета и выбора режимов резания. В этой линейке производительность процесса резания определялась как функция ряда факторов процесса: скорости, подачи, глубины резания и т. п. Формулы зависимостей, лежащих в основе этой линейки, подбирались чисто эмпирически, без какого-либо математического или статистического обоснования. Но характерно, что они представляют собой степенные функции с несколькими переменными аргументами.

Например, давление на резец при обработке чугуна выражалось формулой [3]

$$P = Ka^{0,75}h^{0,93},$$

где P — давление на резец, a — подача, h — глубина резания, K — постоянный коэффициент, различный для разных сортов чугуна.

Таких формул с небольшим числом переменных Тейлор построил множество для разных параметров процесса. Все они имеют форму степенных функций с несколькими переменными (аргументами), т. е. формально аналогичны формуле Кобба — Дугласа.

2. ОПЫТ ИСЧИСЛЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ЭЛАСТИЧНОСТИ УРОВНЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА ПО ОСНОВНЫМ ФАКТОРАМ

Метод, примененный нами для построения уравнений эластичности уровня производительности труда по основным не зависящим от предприятия (внешним) факторам — развесу деталей и относительному масштабу выпуска (степени серийности производства), — это обычный для такого рода исследований метод выравнивания или нахождения уравнений регрессии, характеризующих эмпирические зависимости одних явлений от других. В нашем случае эти зависимости отыскивались в изменениях относительных уровней производительности труда и внешних влияющих на них факторов и выражались в форме уравнений степенной функции.

Расчеты выполнялись следующим образом. На основании тех или иных данных — статистических, опытных или расчетно-технических — составлялись ряды цифр, в которых значения аргумента и функции (например, развес деталей и выпуск продукции в килограммах за 1 чел.-час) приведены в соответствие друг другу. Затем эти ряды приводились к относительным числам с любой условно выбранной базой; ряды относительных чисел логарифмировались и стандартными приемами способа наименьших квадратов выравнивались по прямой; получались уравнения регрессии для логарифмов натурального ряда, имеющие вид $\lg y = n \lg x$, откуда легко было перейти к формуле степенной зависимости $y = x^n$.

Для изучения зависимостей между развесом поковок и производительностью труда были произведены сопоставления и статистическая обработка материалов и нормативов проектных организаций по штамповке автомобильных деталей на молотах, по которым имеются наиболее полные данные [4, 5]. Эти данные приведены в табл. 1.

Таблица 1

Вес падающих частей молота, т	Средний вес деталей, кг	Часовой выпуск, кг/маш.-час	Число рабочих в бригаде	Часовой выпуск, кг/чел.-час	Относительные		
					средний вес деталей	выпуск на 1 маш.-час	выпуск на 1 чел.-час
0,5	0,7	120	2	60	1,0	1,0	1,0
1	1,2	250	3	85	1,7	2,1	1,4
2	7,0	550	4	135	10,0	4,6	2,25
3	10,0	750	5	150	14,4	6,25	2,50
4	15,0	1200	5	240	21,5	10,0	4,0
5	25,0	1500	6	250	36,0	12,5	4,2
6	35,0	1800	6	300	50,0	15,0	5,0

Изменение развеса поковок влияет на производительность труда, измеренную весовыми единицами, через промежуточные показатели: а) требующейся мощности ковочно-штамповочных агрегатов, соответствующей весу штампуемых деталей; б) часовой производительности агрегатов в килограммах, примерно пропорциональной их мощности, и в) численности рабочих в бригадах, работающих на агрегатах.

Такова общая схема влияния развеса поковок на показатель производительности труда в весовом измерении. Количественные же соотношения сопоставляемых показателей по табл. 1 характеризуются следующим:

а) изменения часовой производительности машин как функция развеса поковок могут быть выражены уравнением

$$y_m = x_p^{0,67},$$

где y_m — относительное изменение производительности машин, выраженной в килограммах за час, x_p — относительное изменение развеса поковок;

б) изменения производительности труда как функция изменений развеса поковок — уравнением

$$y_{\text{пр}} = x_p^{0,42},$$

где $y_{\text{пр}}$ — относительное изменение производительности труда, выраженной в килограммах за час.

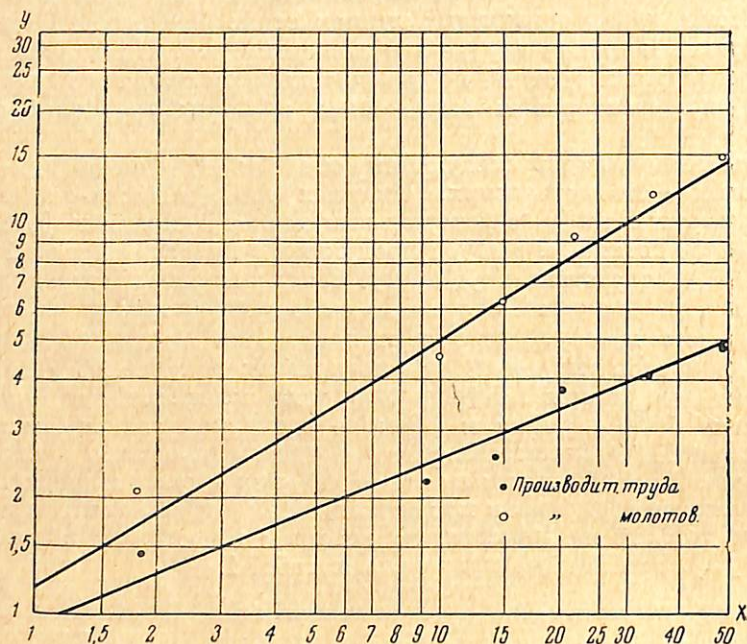


Рис. 1. График корреляционной зависимости между коэффициентами относительного увеличения веса поковок и производительности штамповки по паровоздушным молотам

Из этих уравнений следует, что, например, при удвоении веса поковок производительность машин в килограммах в единицу времени увеличивается в $2^{0,67} = 1,59$ раза, а производительность труда при тех же условиях увеличивается в $2^{0,42} = 1,35$ раза. При десятикратном увеличении веса поковок производительность машин увеличивается в $10^{0,67} = 4,68$ раза, а производительность труда в $10^{0,42} = 2,63$ раза и т. д.

Степень устойчивости или надежности этого вывода может быть точно измерена и в данном случае является достаточно высокой. Это может быть наглядно показано в графической форме. На рис. 1 на осях координат даны в логарифмическом масштабе показатели кратного увеличения веса поковок (ось x) и увеличения производительности (ось y). В поле графика кружками и точками обозначены исходные показатели, взятые из табл. 1, характеризующие наблюдаемые соотношения относительных изменений веса и производительности. Прямые линии представляют собой выравнивающие ряд чисел прямые, соответствующие приве-

денным выше уравнениям $y_m = x_p^{0,67}$ и $y_{пр} = x^{0,42}$. Надежность, устойчивость связей между показателями y и x тем больше, чем теснее располагаются исходные данные (кружки и точки) возле выравнивающей прямой. Рассмотрение графика рис. 1 показывает, что в данном случае отклонения исходных данных от выравнивающей прямой невелики; следовательно, выведенные формулы, связывающие показатели x и y , достаточно надежны, связь эта обладает достаточной устойчивостью, хорошо выражается приведенными выше степенными функциями от x .

Зависимость между развесом поковок и производительностью труда в килограммах за час была нами изучена также по материалам молотовой кузницы одного тракторного завода. Эта кузница по характеру производства, по классу сложности поковок и т. п. аналогична автомобильным кузницам. Была изучена производительность труда на штамповке 60 деталей с развесом от 0,02 до 14,32 кг на молотах мощностью от 0,75 до 12 т.

Полученная в результате исследования зависимость производительности труда $y_{пр}$ от развеса поковок x_p выражается уравнением $y_{пр} = x_p^{0,38}$, т. е. практически весьма близка к выведенной выше для кузниц автозаводов.

Полученные результаты не являются неожиданными. Они могут быть обоснованы рядом технологических соображений как естественные, которых следовало ожидать. Соображения эти таковы. Формула производительности молотов в килограммах за час, как функции развеса штампуемых поковок ($y = x^{0,67}$), может быть обоснована принципами подбора молотов по тоннажу для штамповки деталей разного веса. Существует множество формул для такого подбора [6]. Во все эти формулы в качестве определяющего показателя входит площадь поверхности изготавливаемых деталей. Производительность же молота в килограммах за час для штамповок определенной группы сложности примерно пропорциональна его мощности (т. е. остается величиной постоянной на единицу мощности). Поскольку при увеличении развеса поковки мощность подбираемого для нее молота пропорциональна не объему поковки (или ее весу), а площади ее поверхности, то получается, что при увеличении развеса поковок мощ-

ность увеличивается медленнее, а именно по соотношению $\sqrt[3]{x^2}$, так как площадь увеличивается пропорционально квадрату линейных размеров, а объем (и вес) — пропорционально их кубу. Таким образом, получается, что, принимая x за аргумент, а y за функцию, мы можем выразить их соотношение как $y = \sqrt[3]{x^2} = x^{2/3} = x^{0,67}$. Таким образом, зависимость производительности молотового оборудования по формуле $y = x^{0,67}$ неявно и приблизительно заложена в использованных нами исходных данных, а именно в принципах подбора мощности оборудования, соответственного развесу изделий (поковок).

Надо заметить, что приведенная формула относится не только к кузнечному производству. Ее значение шире. Она применима к анализу зависимости производительности оборудования от развеса деталей и в других процессах формообразования изделий, так как производительность этих процессов при прочих равных условиях (в отношении степени сложности образуемой формы) пропорциональна площади изготавливаемого изделия. М. Е. Егоров прямо указывает на применимость такой формулы к определению производительности оборудования для механической обработки в зависимости от развеса деталей при одинаковой степени сложности и точности обработки [7]. Это относится и к другим процессам машиностроения, в частности даже литейным, так как усилие формовки при изготовлении песчаной литейной формы направлено на деформацию формовочного материала по поверхности образуемой формы.

Формула зависимости производительности труда от развеса довольно логично вытекает из формулы производительности оборудования, если при этом учитывать увеличение численности работающих на нем рабочих по мере увеличения мощности машин (см. табл. 1).

Таким же методом была исследована зависимость производительности труда от второго фактора, принимаемого нами за внешний, не зависящий от предприятия, — масштаба выпуска. Для установления этой зависимости были использованы статистические данные о работе кузнечных цехов автомобильных заводов, позволяющие сопоставить масштабы выпуска поковок и производительность труда. Эти данные приведены в табл. 2.

Таблица 2

Заводы	Выпуск поковок		Средний развес поковок		Коэффициент трудоемкости, $y_{тр} = x_p^{-0,42}$ (отн.)	Приведенный масштаб про- изводства, (х _м) гр. 3×гр. 6 (отн.)	Производительность труда		
	тыс. т	относи- тельный	кг	относи- тельный, х _р			кг/чел.- час	относи- тель- ная	относительная приведенная по трудоем- кости гр.6×гр. 9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
А	7,4	1,0	0,8	1,0	1,00	1,00	11,6	1,00	1,00
В	11,2	1,52	2,13	2,7	0,65	0,98	12,8	1,10	0,72
Д	96,1	13,0	1,84	2,3	0,70	9,10	28,0	2,42	1,69
Е	108,2	14,6	2,85	3,6	0,57	8,30	34,7	2,98	1,69

Масштаб выпуска интересует нас как фактор, определяющий уровень производительности труда. В этом плане было бы неверно сопоставлять показатели выпуска цеха в тоннах с показателями производительности труда в килограммах за час, так как мы только что показали, что тонны разного развеса нельзя считать одинаковыми тоннами с точки зрения производительности труда. Поэтому, например, 11,2 тыс. т годового выпуска кузницы завода В со средним развесом поковок в 2,13 кг (табл. 2) может обозначать с точки зрения влияния на производительность труда не больший, а меньший масштаб выпуска по сравнению с кузницей завода А, выпускающей 7,4 тыс. т поковок, со средним развесом 0,8 кг. Для целей нашего исследования масштаб производства должен, следовательно, определяться не непосредственно тоннажем выпуска поковок, а тоннажем, приведенным к условным тоннам одинаковой трудоемкости.

Такое приведение (по так называемым «коэффициентам трудности») широко практикуется при изучении масштабов производства и производительности труда во многих отраслях промышленности и имеет серьезные основания. В машиностроительном производстве приведение поковок разного развеса к условным тоннам одинаковой трудоемкости при помощи коэффициентов относительной трудоемкости позволяет, в частности, рассматривать масштаб выпуска, выраженный в таких единицах, как показатель уровня концентрации и специализации производства, степени его приближения к поточному производству. При больших масштабах выпуска, выраженного в приведенных единицах, создаются реальные предпосылки для большей специализации производства, чем при меньших. Это связано с тем, что на одно рабочее место при прочих равных условиях падает меньшее количество деталей, т. е. повышается коэффициент серийности производства, являющийся величиной, обратной числу деталей, или работ, закрепляемых за одним рабочим местом. Степень же специализации рабочих мест уже сама по себе существенно влияет на производительность труда, позволяет получить большее количество тонн одинаковых поковок за единицу времени на один молот и на одного работающего, но поковок одинаковых по трудоемкости, а не вообще поковок.

Так и устанавливается связь между масштабом выпуска и степенью специализации рабочих мест, а отсюда и с производительностью труда. Эта связь совершенно ясна при изготовлении в разных количествах или масштабах совершенно одинаковых комплектов поковок (т. е. комплектов на одно и то же изделие). В этом случае при большем масштабе выпуска в тоннах количество единиц оборудования должно быть больше, а номенклатура деталей, входящих в комплект, одинакова; естественно, что при таких условиях число деталей, приходящееся на одно рабочее место, меньше, а следовательно, уровень специализации выше.

Вопрос несколько усложняется, если речь идет о производстве не одних и тех же, а различных по трудоемкости изделий. Очевидно, что при изготовлении поковок большей трудоемкости на 1 т их веса (т. е. поковок малого развеса) для достижения определенного уровня специализации рабочих мест или степени серийности производства требуется меньший объем выпуска в тоннах, чем при изготовлении поковок меньшей трудоемкости на единицу веса (т. е. большего развеса).

Это обстоятельство должно быть учтено при изучении зависимости производительности труда от объема выпуска продукции и отражено в принятом измерителе масштаба производства. В данном случае за измеритель этого объема должны быть приняты не натуральные тонны, а условно приведенные к одинаковой трудоемкости на 1 т. Такой перевод уравнивает неравнозначность 1 т поковок в разных изделиях с точки зрения организационно-технической оценки масштабов выпуска и позволяет рассматривать выпуск в условных тоннах как истинный показатель объема производства, выраженный в однозначных единицах.

Для приведения объемов выпуска разных цехов в условные тонны одинаковой трудоемкости мы воспользовались найденной нами формулой $u_{пр} = x_p^{0,42}$, связывающей производительность труда при штамповке с развесом поковок. Но поскольку для перевода натуральных тонн в условные нужны показатели относительной трудоемкости штамповки, т. е. величины, обратные производительности труда, то это уравнение должно быть преобразовано и представлено в виде $u_{тр} = x_p^{-0,42}$, где x_p — относительные значения развеса, а $u_{тр}$ — относительные значения трудоемкости.

На основании этой формулы рассчитаны масштабы выпуска поковок на разных заводах, приведенные к условным тоннам одинаковой трудоемкости. Для этого относительные показатели развеса поковок x_p (табл. 2, гр. 5) путем возведения их в степень — 0,42 превращены в коэффициенты трудоемкости $u_{тр}$; эти коэффициенты исчислены к той же базе, что и развес поковок и объем выпуска в тоннах (гр. 6). Умножением относительных показателей выпуска поковок (гр. 3) на коэффициенты трудоемкости (гр. 6) рассчитан приведенный масштаб выпуска поковок (гр. 7).

Для определения зависимости уровня производительности труда от масштаба производства надо и показатели производительности труда по различным заводам, выраженные в килограммах за час, привести к сопоставимости с показателями масштаба выпуска, а для этого надо исчислить их к той же базе, к которой приведен объем производства, и затем помножить полученные относительные числа на коэффициенты трудоемкости. Для этого данные о производительности труда в килограммах за час (гр. 8) переводятся в относительные показатели (гр. 9) и затем эти относительные числа умножаются на коэффициенты трудоемкости (гр. 9 × гр. 6 = гр. 10).

В результате исчислений, показанных в табл. 2, получены два ряда относительных показателей: масштаба выпуска поковок разными заводами и производительности труда в тех же цехах. Оба эти ряда выражены в относительных величинах, отнесенных к одной и той же (произвольно

выбранной) базе, и характеризуют соотношения производительности труда и объема выпуска, измеренные в условных весовых единицах, приведенных к одинаковой трудоемкости.

На основании этих данных была изучена зависимость относительного уровня производительности труда от масштаба производства. При этом были применены те же математические приемы, как и при изучении зависимости производительности труда от развеса деталей. В данном случае искомая зависимость определилась формулой $y_{\text{пр}} = x_m^{0,33}$, где $y_{\text{пр}}$ — относительные значения производительности труда, а x_m — относительные значения масштаба выпуска поковок данным цехом в условно-приведенном тоннаже.

Полученный по этому расчету показатель степени 0,33 для зависимости относительного уровня производительности труда от масштаба выпуска или серийности производства, вообще говоря, недостаточно убедителен, так как основан на слишком малом количестве наблюдений (всего четыре пары показателей). Но его величина оказалась сходной с результатами аналогичных расчетов, ранее производившихся нами для других цехов машиностроительных заводов, где этот показатель лежал в пределах $0,25 \div 0,35$. Поэтому, учитывая экспериментально-методологический характер исследования, мы приняли его для дальнейших расчетов.

Таким образом, нами получены две однотипные формулы, выражающие зависимость относительного уровня производительности труда в нескольких кузнечных цехах от двух факторов (развеса деталей и масштаба выпуска) в виде степенной зависимости. При этом действие каждого фактора отражено в этих формулах, так сказать, в чистом виде, при прочих равных условиях. Этого мы добились тем, что влияние развеса поковок на производительность труда было установлено на основании технологических данных без учета влияния масштаба производства, а влияние масштаба производства выявлено путем устранения уже изученного влияния развеса приведением объема выпуска и производительности к соизмеримому виду по коэффициентам трудоемкости штамповки поковок разного развеса. Этим обеспечивалась возможность выведения общего уравнения зависимости производительности труда от обоих исследованных факторов (развеса поковок x_p и масштаба их выпуска x_m) перемножением значений аргументов x_p и x_m , взятых в соответствующих степенях. Таким образом, общее уравнение, отражающее относительные изменения производительности труда в килограммах за человеко-час, как функцию среднего развеса поковок и приведенного масштаба выпуска поковок (серийности производства), приобрело следующую форму:

$$y_{\text{пр}} = x_p^{0,42} x_m^{0,33}.$$

Это уравнение может быть практически использовано для сравнительной оценки фактически достигнутой производительности труда в разных кузнечных цехах автомобильных заводов. Оно играет при этом нормативную роль: приняв за базу расчета цех какого-либо произвольно выбранного завода, можно по этому уравнению установить нормальные соотношения в уровнях производительности труда в килограммах за человеко-час для каждого из сравниваемых цехов, если известен развес поковок и масштаб выпуска поковок в тоннах по каждому из них. Сравнивая с этими нормативными показателями фактические показатели производительности труда, отнесенные к той же базе, можно дать сравнительную оценку уровней производительности труда, достигнутых каждым цехом.

В табл. 3 представлен пример такого анализа показателей работы нескольких кузнечных цехов автомобильных заводов.

Порядок составления табл. 3 следующий. Средний развес поковок

(гр. 2), выпуск поковок в тоннах (гр. 5) и фактическая производительность труда в тоннах на одного рабочего в год (гр. 10) представляют собой отчетные данные за изучаемый период по каждому из цехов. Эти данные пересчитываются в относительные числа (или проценты), которые записываются в соседней колонке (т. е. в гр. 3, 6 и 11). Все последующие расчеты являются нормативными и выполняются на основании указанных записей с применением исчисленных нами формул степенной зависимости производительности труда от разных факторов.

Таблица 3

Названия заводов	Средний развес поковок			Выпуск поковок				Производительность труда				Место цеха по порядку в ранжированном ряде
	кг	по отношению к базе		тыс. т	по отношению к базе			нормативная по отношению к базе (гр. 4×гр.8)	фактическая			
		средний развес, x_p	степенная функция развеса, $x_p^{0,42}$		по натуральным тоннам	по тоннам, приведенным по трудоемкости, x_m	степенная функция, $x_m^{0,33}$		тонн за год на одного рабочего	по отношению к базе	по отношению к нормативной (гр. 11 : гр. 9)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
А	0,80	1,00	1,00	7,2	1,00	1,00	1,00	1,00	24,9	1,00	1,00	III
Б	1,91	2,40	1,46	10,2	1,24	0,97	0,99	1,45	28,2	1,14	0,79	V
В	3,40	4,25	1,87	15,8	2,19	1,17	1,07	2,00	34,2	1,38	0,69	VI
Г	2,20	2,75	1,54	32,9	4,55	2,95	1,43	2,20	60,6	2,44	1,10	I
Д	2,48	3,10	1,63	112,7	15,62	9,60	2,10	3,42	70,6	2,84	0,83	IV
Е	2,89	3,62	1,73	125,4	17,40	10,00	2,14	3,70	100,1	4,03	1,08	II

Прежде всего вычисляем показатель относительной производительности труда как функции развеса ($y = x_p^{0,42}$). Он вычисляется возведением показателей, записанных в гр. 3, в степень 0,42 и помещается в гр. 4. Этот показатель войдет в сводный показатель нормативной производительности (гр. 9), а также используется для приведения фактического масштаба выпуска (гр. 6) к единой трудоемкости. Для этого показатели гр. 6 возводятся в степень 0,42 и результат записывается в гр. 7, представляющую фактический тоннаж выпуска в приведенных тоннах — x_m . Возведением этого показателя в степень 0,33 получим нормативный показатель относительной производительности труда как функцию масштаба выпуска y (гр. 8).

Перемножая показатели гр. 4 и 8, получим нормативный ряд относительных показателей производительности труда для разных цехов, отражающий различия этих цехов по развесу поковок и по масштабам выпуска. Такой нормативный ряд записан в гр. 9. Для оценки фактически достигнутых уровней производительности труда в разных цехах цифры гр. 11 делятся на цифры гр. 9. Результат такого сопоставления записан в гр. 12. В гр. 13 показано место каждого цеха (по показателям гр. 12) по порядку в ранжированном ряде. Это и есть результат расчета. Он характеризует сравнительную успешность работы разных цехов в отношении производительности труда. Можно считать, что в этом результате отражается вся совокупность внутренних, зависящих от цеха факторов, влияющих на производительность труда, поскольку влияние внешних, не зависящих факторов, нивелировано применением рассчитанной формулы.

3. НЕКОТОРЫЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ О ПРИМЕНЕНИИ УРАВНЕНИЙ РЕГРЕССИИ В ФОРМЕ СТЕПЕННОЙ ФУНКЦИИ

Изложенная выше методика установления эмпирических зависимостей в форме степенной функции была показана на частном примере решения задачи нормативной оценки уровней производительности труда с учетом

различий во внешних условиях, не зависящих от самих сравниваемых производственных участков, от организации труда и производства на них. Эта задача представляет большой общеэкономический и методологический интерес. В частности, рассмотренный выше пример коррелирования относительных изменений уровня производительности труда с относительными изменениями величины некоторых внешних факторов или условий, в которых протекает производственный процесс, позволил выяснить ряд существенных закономерностей, действующих в этой области. Так, выявленная в этом исследовании связь между штучным весом или объемом обрабатываемых изделий и производительностью применяемого в производстве оборудования определенного типа, описываемая уравнением $y = x^{0,67}$, представляет закономерность, которая может быть довольно широко обобщена. Как показали исследования автора, производившиеся им в течение ряда лет относительно различных технологических процессов, приведенная выше формула пригодна для характеристики влияния развеса изделий (или их объема) на производительность во всех тех случаях, когда сущность процесса производства заключается в том или ином воздействии на поверхность предмета труда, а таких процессов очень много.

Не меньшее значение имеет установленная в данном исследовании зависимость трудоемкости производства изделий от относительных масштабов производства или степени его серийности: $y = x^{0,33}$. Близкая по размерности зависимость между этими показателями выявлялась автором ранее тем же методом для других производств. Нахождение такой зависимости также имеет важное принципиальное значение с точки зрения изучения закономерностей в области организации производства.

Однако изложенная здесь методика изучения зависимости производительности труда от условий, в которых протекает процесс труда, имеет более универсальное значение. Она может широко использоваться в экономическом анализе производственных процессов. Можно отметить, например, очень интересное применение этого метода в американской промышленности для определения зависимости ряда производственных показателей — в первую очередь той же трудоемкости изделия, а также себестоимости и т. п. — от степени освоенности производства, выражаемой порядковым номером изделия с начала его выпуска предприятием. Подобного рода зависимость была найдена в виде уравнения степенной функции для предприятий авиационной промышленности во время мировой войны и ею пользовались все авиационные компании, а затем и предприятия других отраслей промышленности для производственных расчетов, установления продажных цен на серийные изделия и т. п. В частности для трудоемкости изготовления самолетов большинства типов была установлена зависимость от порядкового номера с начала производства, выражаемая формулой: $y = x^{-0,32}$. Близкие формулы были получены по другим видам изделий: навигационному оборудованию самолетов, станко-строению, морским судам, строительным машинам, текстильным станкам и др. [8]. Методика определения такой зависимости была освещена в периодической печати США. Вполне возможно плодотворное применение этой методики для изучения широкого круга других аналогичных зависимостей из области организации производства и планирования.

У нас в последнее время уравнения регрессии в форме степенной функции стали все чаще применяться для решения довольно широкого круга задач из области укрупненного нормирования, т. е. создания нормативов широкого применения [9, 10].

Эти работы дали толчок применению методов корреляционного исчисления в нормировании и, в частности, применению для этой цели уравнений регрессии в форме степенной функции. Но, к сожалению, статистиче-

ская природа полученных таким методом нормативов трактуется очень упрощенно, а иногда и просто искажается.

Недоразумения с применением уравнений в форме степенной функции в укрупненном нормировании связаны обычно с тем, что здесь отыскивается не закономерная связь относительных изменений одних величин с относительными изменениями других, как это имело место в рассмотренном выше исследовании, а абсолютные значения определенных показателей как функции заданных условий. Это различие оказывается при ближайшем рассмотрении очень принципиальным и многое определяющим.

Сравнительно нетрудно перейти от коррелирования относительных изменений аргумента и функции к определению абсолютного значения функции одной переменной, если известно ее значение для любого произвольно выбранного значения аргумента и показатель степени в уравнении степенной функции. При этих условиях достаточно ввести в уравнение регрессии указанное значение функции в качестве постоянного коэффициента, а соответствующее ей значение аргумента приравнять единице, т. е. принять за базисное, выражая любые другие возможные значения аргумента как относительные величины к этому базисному значению. Например, если известно, что себестоимость первого серийного экземпляра станка или другой машины составляет 260 руб., а степенная функция, выражающая зависимость относительных значений себестоимости от порядкового номера выпускаемых станков, представлена уравнением $y = x^{-0,30}$, то уравнение регрессии для определения абсолютного значения себестоимости станка любого порядкового номера выпуска может быть записано так: $y = 260x^{-0,30}$, где x будет обозначать порядковый номер станка. По этой формуле, например, себестоимость 100-го станка составит 65 руб. Если же дана себестоимость изготовления только 100-го станка, то для определения по той же формуле себестоимости станка любого другого порядкового номера надо применить формулу $y = 65x^{-0,30}$, где x будет обозначать отношение этого порядкового номера к 100, т. е. для 500-го номера — 5, для 2000-го — 20, и т. д.

Дело, однако, значительно осложняется, если ставится задача определения норматива как абсолютного значения функции многих переменных. В изложенных выше схемах, в которых относительные изменения определенных показателей (y) были представлены как функции относительных же изменений нескольких аргументов ($x_1, x_2, \dots, x_n$), степенные функции этих аргументов входят в формулу уравнения регрессии как простые множители. Это было вполне логично, поскольку: во-первых, принималось, что они характеризуют действие взаимонезависимых факторов, и, во-вторых, все они имели одинаковую размерность — выражали кратность величины аргумента по отношению к его величине у объекта, принятого за базу для сравнения. В схемах, где уравнения регрессии используются для определения абсолютного значения норматива как функции многих переменных, наличие обоих этих условий также должно быть обеспечено для того, чтобы эти схемы можно было бы считать пригодными для решения поставленной задачи. Между тем это далеко не всегда делается.

Обеспечение первого условия — независимости действия отдельных факторов — требует применения в анализе схем и правил множественной корреляции, что, как известно, представляет значительные трудности, которые в укрупненном нормировании стараются обойти, особенно в тех случаях, когда схема многофакторного процесса включает большое количество аргументов (факторов). Это существенно ослабляет обоснованность получаемых таким расчетом норм, хотя бы и укрупненных.

Второе условие построения логически обоснованных схем укрупненного нормирования многофакторных процессов с применением степенных функций в уравнениях регрессии — одномерность аргументов — также часто не выдерживается: различные аргументы (факторы) имеют разную размерность. Это затрудняет введение в уравнение регрессии постоянного множителя, который, как мы видели, «абсолютизирует» значение отыскиваемой зависимой переменной (норматива); так как логический смысл этого множителя становится крайне расплывчатым, определяют его обычно очень отвлеченно, например, как «коэффициент, отражающий уровень технологии и организации производства», или еще более отвлеченно, как «постоянный коэффициент, выражающий связь норматива с численными значениями факторов». Такая формулировка вводит большой элемент неопределенности во всю конструкцию расчета норматива, делает эту конструкцию весьма шаткой. Здесь нужны серьезные методологические уточнения. По-видимому, надо приблизить методику расчета абсолютных значений нормативов в многофакторных процессах с применением степенных функций к изложенной выше методике аналогичного расчета в однофакторных: считать в качестве постоянного коэффициента в уравнении регрессии конкретное значение нормируемого показателя для какого-либо произвольно выбранного набора значений аргументов ($x_1, x_2, \dots, x_n$), принимаемого за базисный, а все другие возможные значения каждого из этих аргументов выражать как относительные к базисным. Тогда схема для многофакторного процесса получит такую же ясность и логичность, как для однофакторного.

Наконец, усиления и уточнения требует чисто статистическая сторона укрупненного нормирования с применением степенной функции в уравнении регрессии. Пригодность функции этого вида для решения поставленной задачи в каждом конкретном случае должна рассматриваться не более как рабочая гипотеза, подлежащая проверке анализом получаемого результата. Как бы ни ослаблялись требования к точности отыскиваемого норматива в укрупненном нормировании, все же такое нормирование должно обеспечить известный уровень тесноты связи между изучаемыми факторами (аргументами) и отыскиваемой их функцией (нормой). Однако эта сторона дела в укрупненном нормировании часто игнорируется. Важный со статистической точки зрения этап исследования пропускается и тем самым существенно ограничивается статистическое представление об уравнении регрессии как об инструменте установления нормы. Статистическая по своей природе задача установления нормы на основе данных наблюдения приобретает иной, и в значительной степени отвлеченный, характер.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. A. Walters. Production and cost functions. An Economic Survey. *Econometrica*, 1963, vol. 31, No. 12 (библ. 345 назв.).
2. C. W. Cobb and P. H. Douglas. A theory of production. *Amer. Econ. Rev.*, 1928, vol. 18, No. 3, Supplement.
3. С. Ф. Глебов. Процесс резания как единая эмпирическая формула. М., изд-во НТО ВСНХ СССР, 1923.
4. Справочник проектанта машиностроительных заводов. Т. 1. М., Машгиз, 1946.
5. Энциклопедический справочник машиностроения (ЭСМ). Т. 14. М., Машгиз, 1949.
6. Я. М. Охрименко. Основы технологии горячей штамповки. М., Машгиз, 1957.
7. М. Е. Егоров. Основы проектирования машиностроительных заводов. М., Машгиз, 1954.
8. *J. Industr. Engineering*, 1958, vol. 9, No. 3 (библ. 19 назв.).
9. Г. Э. Слезингер. Плановые нормативы и планирование в инструментальных цехах. М., ВИНТИ, 1958.
10. Н.-и. ин-т труда. Методические указания по разработке укрупненных нормативов численности и типовых структур аппарата управления промышленных предприятий. М., 1964.

Поступила в редакцию
29 IX 1964