

УДК 621:658.152 (477)

А. Г. ЯНКОВОЙ,
профессор, доктор экономических наук,
заведующий кафедрой экономики предприятия
и организации предпринимательской деятельности,

В. А. ЯНКОВОЙ,
кандидат экономических наук,
доцент кафедры экономики, права и планирования бизнеса

Одесский национальный экономический университет,
ул. Преображенская, 8, 65082, Одесса, Украина

ФОНДОВООРУЖЕННОСТЬ В МАШИНОСТРОЕНИИ УКРАИНЫ: РЕАЛЬНОСТЬ И ОПТИМАЛЬНОСТЬ

Рассмотрена динамика показателей производительности труда, фондоотдачи и фондовооруженности в отрасли машиностроения Украины за последние годы. Доказана неоптимальность фондовооруженности в 2007–2015 гг. с учетом объемов реализации продукции машиностроения. Теоретически обоснована процедура определения оптимальной фондовооруженности на базе производственных функций с ее апробацией по данным машиностроительной отрасли Украины.

Ключевые слова: машиностроение; фондовооруженность; производственная функция; эквимаржинальный принцип; замещение факторов.

Библ. 14; рис. 3; табл. 2; формул 22.

UDC 621:658.152 (477)

OLEKSANDR YANKOVYI,

*Professor, Doctor of Econ. Sci.,**Head of the Department of Economics of Enterprise and Entrepreneurship,*

VOLODYMYR YANKOVYI,

*Cand. of Econ. Sci.,**Associate Professor of the Department of Economics, Law and Business Management**Odesa National Economic University,*

8, Preobrazhenska St., Odesa, 65082, Ukraine

CAPITAL-LABOR RATIO IN UKRAINE'S MACHINE BUILDING: REALITY AND OPTIMALITY

The dynamics of indicators of labor productivity, capital productivity and capital-labor ratio in the field of Ukraine's machine building in recent years is considered. The non-optimality of capital-labor ratio in 2007–2015 is proved, taking into account volumes of sales of machine-building products. The procedure for determining the optimal capital stock on the basis of production functions with its approbation using data of machine-building industry of Ukraine is theoretically substantiated.

Keywords: machine building; capital-labor ratio; production function; equimarginal principle; factors' substitution.

References 14; Figures 3; Tables 2; Formulas 22.

© Янковой Александр Григорьевич (Yankovyi Oleksandr), 2018; e-mail: yankovoy_a@ukr.net;

© Янковой Владимир Александрович (Yankovyi Volodymyr), 2018; e-mail: vladimir_ya@ukr.net.

Существенное повышение конкурентоспособности отдельных предприятий отечественного машиностроения и отрасли в целом невозможно без рационального использования всех ресурсов – в первую очередь, основных производственных фондов и рабочей силы. Исторически в экономической науке указанные производственные факторы получили обозначение K (от нем. kapital) и L (от англ. labor).

В качестве показателя, характеризующего координацию производственных факторов, используется фондовооруженность (ФВ):

$$\text{ФВ} = \frac{K}{L}. \quad (1)$$

Ее величина показывает, какая часть стоимости основных производственных фондов приходится на одного работника (или на одного рабочего) основной деятельности. Главное условие роста фондовооруженности на машиностроительных предприятиях – инновационно-инвестиционное развитие производства: внедрение автоматизированного производства, электронно-вычислительной техники, повышение коэффициента сменности, уменьшение потерь рабочего времени, механизация и автоматизация вспомогательных работ, применение новых, прогрессивных материалов, сырья и т. д.

Считается, что рост фондовооруженности – один из важных факторов повышения эффективности общественного производства. На основе внедрения инновационно-инвестиционных мероприятий фондовооруженность любой отрасли должна постоянно расти. По нашему мнению, приведенный тезис о неуклонном повышении фондовооруженности в машиностроении в значительной мере отражает сущность экономической политики государства в условиях жесткого централизованного управления устойчивым производством с высокой долей ручного и слабомеханизированного труда, когда меры по внедрению новых техники и технологии сопровождались автоматическим ростом спроса на дополнительный выпуск продукции предприятий отрасли.

В трансформационной рыночной экономике, особенно в условиях перманентного экономического кризиса, характерного для большинства отраслей Украины, указанная взаимосвязь проявляется не так четко и функционально: рост фондовооруженности может не коррелировать с изменениями спроса потребителей на оптовых и розничных рынках на дополнительную продукцию, поскольку объем чистого дохода от реализации во многом зависит от повышения реальной оплаты труда. В результате на некоторых отечественных предприятиях машиностроения наблюдается относительный избыток основных производственных фондов по сравнению с численностью работников – то есть чрезмерная фондовооруженность на фоне устойчивого или падающего спроса на определенную продукцию машиностроительной отрасли. Однако в целом, и это признают подавляющее большинство ученых-экономистов, фондовооруженность украинских предприятий вследствие высокой (на уровне 70%) изношенности основных средств производства очень далека от необходимой, например от средней мировой. Поэтому, на наш взгляд, в такой ситуации лучше говорить об оптимальной фондовооруженности в машиностроении в смысле максимизации реализованной продукции при заданных общих затратах факторов (или минимизации общих затрат производственных факторов при заданной реализации продукции).

Итак, **цель статьи** – определить оптимальную фондовооруженность в машиностроении с учетом динамики важных производственных показателей отрасли.

Поставленная цель обусловила необходимость решения следующих основных задач:

– анализ ситуации возникновения неоптимальной фондовооруженности за счет сравнения относительной скорости динамики показателей производительности труда, фондоотдачи и величины фактической фондовооруженности;

– теоретическое обоснование математического определения оптимальной фондовооруженности на базе производственных функций с учетом динамики важных показателей хозяйственной деятельности, представленных в стоимостном измерении;

– разработка процедуры поиска оптимальной фондовооруженности с помощью эконометрических моделей, адекватно описывающих взаимосвязь временных рядов реализации продукции, основных производственных фондов и расходов на оплату труда на базе производственных функций;

– апробация полученных теоретических результатов на примере данных украинского машиностроения.

При достижении поставленной цели применялись качественные и количественные методы, в частности, положения теории микроэкономики, эконометрическое моделирование, аппарат анализа экономической динамики (темпы роста и прироста и т. д.), а также динамизированные производственные функции по типу функции Кобба – Дугласа – Тинбергена и др.

Между показателями производительности труда (ПТ), фондоотдачи (ФО) и фондовооруженности существует очевидная взаимосвязь:

$$\text{ПТ} = \frac{Y}{L} = \frac{Y}{K} \times \frac{K}{L} = \text{ФО} \times \text{ФВ}, \quad (2)$$

где Y – объем реализованной продукции машиностроения.

Следовательно, производительность труда равна произведению фондоотдачи и фондовооруженности. Из соотношения (2) следует, что рост величины фондовооруженности – важный фактор повышения производительности труда в машиностроении, которая должна расти быстрее, чем уровень фондовооруженности. В противном случае снижается фондоотдача – объем производства продукции на единицу стоимости основных производственных фондов и, следовательно, ухудшается их использование. В данной ситуации можно ожидать неоптимальную фондовооруженность, в частности, определенную избыточность основных производственных фондов по сравнению с затратами труда.

Понятно, что вполне вероятны ситуации, когда один из факторов формулы (2) – практически константа, то есть почти не варьируется. В этом случае динамика производительности труда определяется динамикой одного из сомножителей – фондоотдачей или фондовооруженностью:

$$\text{ПТ} = \text{const} \times \text{ФО}; \quad \text{ПТ} = \text{const} \times \text{ФВ}. \quad (3)$$

В случае постоянной производительности труда на определенном этапе развития машиностроительного производства показатели фондоотдачи и фондовооруженности связаны между собой обратной зависимостью:

$$\text{ФВ} = \text{const} : \text{ФО}; \quad \text{ФО} = \text{const} : \text{ФВ}. \quad (4)$$

Следовательно, определение наилучшего соотношения двух главных производственных факторов, то есть оптимальной фондовооруженности, очень актуально для любой отрасли экономики Украины, в частности и для машиностроения.

Прежде всего, рассмотрим данные Государственной службы статистики Украины о динамике фондовооруженности, производительности труда и фондоотдачи в машиностроении за 2007–2017 гг. (рис. 1, 2 и 3). На основе визуального анализа графика на рисунке 1 следует отметить, что в динамике фондовооруженности четко прослеживаются два этапа: неуклонного роста исследуемого показателя (2007–

2015 гг.) и определенного падения фондовооруженности (2016–2017 гг.). Общую тенденцию развития анализируемого показателя отечественного машиностроения достаточно точно и адекватно отражает параболический (2-й степени) тренд, коэффициент детерминации которого составляет почти 80%.

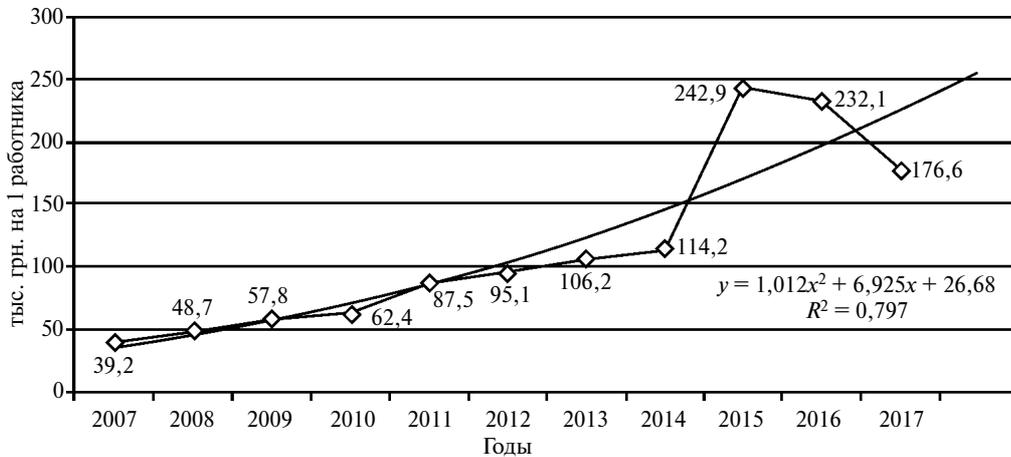


Рис. 1. Динамика фондовооруженности в машиностроении Украины за 2007–2017 гг.

Здесь и далее построено авторами по данным Государственной службы статистики Украины [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ukrstat.gov.ua/>. Здесь и далее данные приведены без учета временно оккупированной территории АР Крым, Севастополя, за 2014–2016 гг. – также без части зоны проведения АТО. Данные за 2017 г. сформированы по оценкам экспертов.

Теперь рассмотрим динамику производительности труда в машиностроении за те же годы (рис. 2).

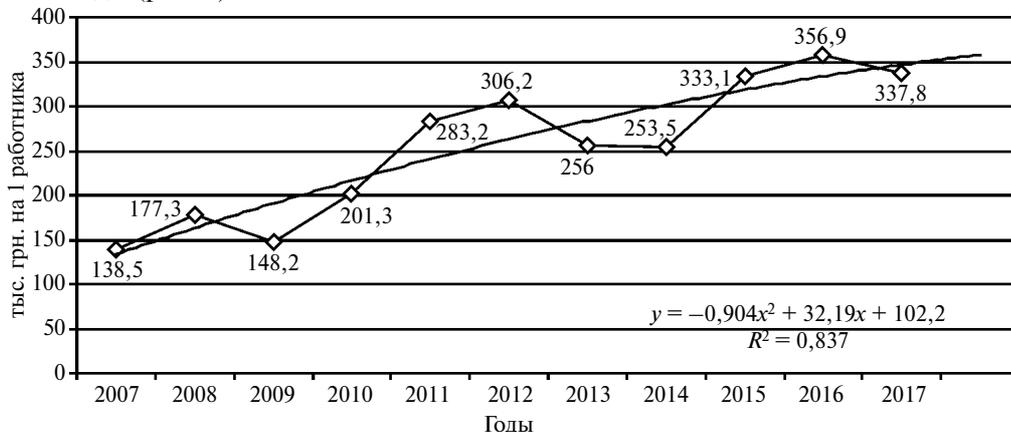


Рис. 2. Динамика производительности труда в машиностроении Украины за 2007–2017 гг.

График на рисунке 2 свидетельствует о некоторой цикличности при изменении исследуемого показателя на фоне общей тенденции к росту производительности труда, которую достаточно точно и адекватно отражает параболический (2-й степени) тренд, коэффициент детерминации которого превышает 83%.

Итак, проанализируем динамику фондоотдачи в машиностроении за период 2007–2017 гг. (рис. 3).

По графику на рисунке 3 прослеживается определенная цикличность в изменении исследуемого показателя на фоне общей тенденции к снижению фондоот-

дачи, достаточно точно и адекватно отражаемой параболическим (2-й степени) трендом, коэффициент детерминации которого превышает 75%. Причем все три модели построены с прогнозом соответствующих взаимосвязанных экономических признаков на один шаг вперед, то есть на 2018 г.

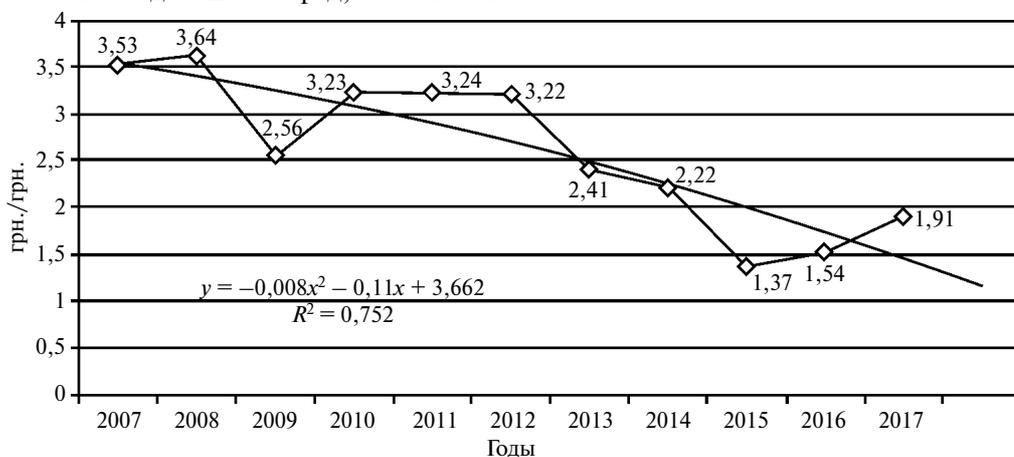


Рис. 3. Динамика фондоотдачи в машиностроении Украины за 2007–2017 гг.

Сравнение графиков на рисунках 1, 2 и 3 на первом этапе (2007–2015 гг.) показывает, что в этот период в машиностроительной отрасли Украины наблюдалось неуклонное повышение фондовооруженности, а циклические колебания растущей производительности труда были обусловлены в основном флуктуациями фондоотдачи, имевшей общую тенденцию к спаду.

Рассмотрим показатели относительной скорости повышения производительности труда и фондовооруженности на первом этапе развития в виде соответствующих базисных темпов роста (ТР).

Производительность труда:

$$ТР_{\text{баз}} = \frac{ПТ_{2015}}{ПТ_{2007}} = \frac{333,1}{138,5} = 2,41.$$

Фондовооруженность:

$$ТР_{\text{баз}} = \frac{ФВ_{2015}}{ФВ_{2007}} = \frac{242,9}{39,2} = 6,19.$$

Сравнение полученных результатов показывает, что относительная скорость роста фондовооруженности в 2,57 раза превышала аналогичный параметр динамики производительности труда, то есть в 2007–2015 гг. имел место случай сочетания динамики показателей производительности труда и фондовооруженности, для которого характерно снижение эффективности использования основных производственных фондов (см. рис. 3). Напомним, что для него фондовооруженность, скорее всего, неоптимальна.

На втором этапе развития машиностроения (2016–2017 гг.) производительность труда в отрасли была почти постоянной: в 2015 г. – 333,1 тыс. грн., в 2016 г. – 356,9 тыс. грн., в 2017 г. – 337,8 тыс. грн. Именно поэтому на данном этапе наблюдалась обратная зависимость между показателями фондоотдачи и фондовооруженности – величина фондоотдачи неуклонно росла: с 1,37 грн./грн. в 2015 г. до 1,91 грн./грн. в 2017 г., а уровень фондовооруженности ежегодно падал – с 242,9 тыс. грн. в 2015 г. до 176,6 тыс. грн. в 2017 г.

Итак, в целом подтверждается предположение об отсутствии общего неуклонного повышения фондовооруженности в машиностроении Украины в 2007–2017 гг.

Оно наблюдалось в исследуемом периоде только на первом этапе развития (2007–2015 гг.) при определенном снижении эффективности использования основных производственных фондов, главным образом за счет их высокой физической и моральной изношенности. Именно поэтому мы считаем целесообразным выдвинуть вполне обоснованную гипотезу о неоптимальной фондовооруженности отрасли на данном этапе развития.

Что касается второго этапа развития машиностроения (2016–2017 гг.), то здесь картина противоположная: снижение фондовооруженности в результате распродажи и ликвидации изношенного оборудования привело к определенному повышению фондоотдачи при относительно постоянной производительности труда. Выполнение условия $ПТ \approx \text{const}$ свидетельствует о целесообразности уменьшения количества и стоимости устаревших и незадействованных в производстве основных средств. Именно поэтому мы положительно оцениваем проявившуюся в 2016 г. тенденцию в динамике фондовооруженности к снижению и надеемся на ее постепенное приближение к оптимальной величине.

В экономической науке проблему поиска оптимальной фондовооруженности рыночно-производственных систем нельзя назвать новой. Так, в теории микроэкономики широко известен подход к оптимизации фондовооруженности товаропроизводителя в случае двух агрегированных производственных факторов (основных производственных фондов K и труда L), суть которого заключается в определении такой точки с координатами K_1, L_1 , которая максимизирует выпуск продукции Y_1 при заданных общих затратах капитала: $C_1 = K_1 + L_1$ (минимизирует общие затраты C_1 на определенный выпуск продукции Y_1). Основным подходом к решению данной задачи выступает аппарат производственных функций, в частности их геометрическая интерпретация в виде изоквант, изокост и т. д. [1; 2; 3; 4].

В микроэкономике доказано, что оптимальная комбинация производственных факторов обеспечивает выполнение следующего условия: предельные продукты производственных факторов (MP_K, MP_L – от англ. marginal product), приходящиеся на единицу их цены, должны быть одинаковыми:

$$\frac{MP_K}{P_K} = \frac{MP_L}{P_L}. \quad (5)$$

Данное условие часто называют эквимаржинальным принципом – взвешенные по ценам предельные продукты факторов производства должны быть выровнены. Реализуя эти условия, товаропроизводитель достигает состояния внутреннего равновесия, то есть лучшего сочетания ресурсов.

Очевидно, что в случае измерения всех переменных (Y, K, L) в денежных единицах предельные продукты факторов производства тоже находятся в стоимостном выражении. Именно поэтому формулу (5) можно представить так:

$$MP'_K = MP'_L, \quad (6)$$

где MP'_K, MP'_L – предельные продукты, соответственно, основных производственных фондов и труда, выраженные через их количество в натуральном измерении.

Следовательно, сущность эквимаржинального принципа заключается в равенстве предельных продуктов производственных факторов в условиях оптимальной фондовооруженности предприятия. Например, если p_K – цена одного машино-часа работы технологического оборудования (в грн.), а p_L – тариф одного человеко-часа труда (в грн.), то для товаропроизводителя в состоянии внутреннего равновесия выполняется соотношение: *предельный продукт основных производственных фондов, выраженный в машино-часах работы технологического оборудования, равен предель-*

ному продукту живого труда, выраженному в человеко-часах работы производственного персонала.

Из формулы (6) следует, что в точке оптимальной фондовооруженности товаро-производителя предельная норма замещения производственных факторов (MRS – от англ. marginal rate of substitution) приобретает вид:

$$MRS_{LK} = \frac{MP'_K}{MP'_L} = 1. \quad (7)$$

Легко доказать справедливость и обратного утверждения: если для предельной нормы замещения производственных факторов выполняется условие (7), то товаро-производитель находится в точке оптимальной фондовооруженности.

С учетом полученных теоретических результатов приходим к выводу: для определения координат оптимальной фондовооруженности для любой субституционной производственной функции с эквимаржинальным принципом достаточно найти выражение его предельной нормы замещения и приравнять к единице. При этом предполагается, что все исходные производственные переменные выражены в стоимостном измерении, а предельные продукты факторов – в натуральных единицах.

Это правило в общем виде формулируется так: *эквимаржинальный принцип определения оптимальной фондовооруженности для любой субституционной производственной функции заключается в выполнении условия:*

$$MRS_{LK} = \frac{\partial Y}{\partial K} : \frac{\partial Y}{\partial L} = \frac{f'_K(K, L)}{f'_L(K, L)} = 1. \quad (8)$$

Из формулы (8) оптимальная фондовооруженность K_1/L_1 находится довольно просто. Мы применяли предложенный эквимаржинальный принцип и основанную на нем формулу (8) для определения оптимальной фондовооруженности в рамках наиболее популярных в экономических исследованиях производственных функций [5; 6; 7].

Рассмотрим теперь процедуру поиска оптимальной фондовооруженности, начиная с построения эконометрической модели, адекватно описывающей взаимосвязь временных рядов показателей Y , K , L , и заканчивая практическими расчетами, выводами и рекомендациями. Здесь вполне закономерно возникает вопрос: “Как выбрать именно ту производственную функцию, которая бы адекватно описывала эмпирические данные?”. Попробуем ответить на него, основываясь на опыте собственных, зарубежных и отечественных исследований в обсуждаемой сфере.

Во-первых, поскольку эконометрическая модель строится по данным временных рядов, то с целью дополнительного учета влияния на объем реализации так называемого нейтрального научно-технического прогресса следует применять динамизированные производственные функции. Они включают в себя обобщающий фактор времени t ($t = 1, 2, \dots, N$, где N – длина ряда динамики), учитывающий влияние на реализацию продукции машиностроения всех факторов, кроме K и L .

Во-вторых, при выборе конкретной производственной функции желательно применять рекомендации из литературных источников, хотя их практическая полезность выглядит весьма сомнительной. Так, А.В. Артемова и другие, анализируя сравнительные характеристики производственных функций, дают следующую рекомендацию: линейная производственная функция применяется для моделирования крупномасштабных систем (крупная отрасль), в которых выпуск продукции – результат одновременного функционирования множества различных технологий [8]. Подобные рекомендации встречаются также в работах В.В. Витлинского [9], М.В. Бондарь, А.В. Махлай [10], С.С. Шумской [11; 12], Д.Н. Боровского [13] и других.

На наш взгляд, при выборе вида производственной функции как основы будущей эконометрической модели определения оптимальной фондовооруженности в машиностроительной отрасли особое внимание нужно обращать на следующие два момента:

- 1) возможность и простоту оценки неизвестных параметров функции;
- 2) точность построенной экономико-математической модели.

Причем первый из указанных моментов является определяющим, поскольку необходимость специального программного обеспечения для оценки неизвестных коэффициентов некоторых производственных функций становится реальным препятствием для их практического применения. Поэтому с учетом указанных моментов рассмотрим наиболее популярные в экономических исследованиях функции.

1. Динамизированная функция Кобба – Дугласа, так называемая производственная функция Кобба – Дугласа – Тинбергена, имеет вид:

$$Y = Ae^{\omega t} K^{\alpha} L^{\beta}, \quad (9)$$

где A – коэффициент масштаба ($0 < A$); α, β – неизвестные параметры, характеризующие эластичность выпуска продукции по производственным факторам ($0 < \alpha < 1, 0 < \beta < 1$); ω – темп прироста реализации продукции за счет нейтрального научно-технического прогресса.

Для оценки неизвестных параметров производственной функции Кобба – Дугласа – Тинбергена используют ее линеаризацию на основе логарифмирования левой и правой частей (9):

$$\ln Y = \ln A + \omega t + \alpha \ln K + \beta \ln L. \quad (10)$$

Обозначив $\ln Y = Y', \ln A = A', \ln K = K', \ln L = L'$, приходим к обычной линейной модели:

$$Y' = A' + \omega t + \alpha K' + \beta L', \quad (11)$$

неизвестные коэффициенты которой ($A', \omega, \alpha, \beta$) достаточно просто оценить по методу наименьших квадратов, например, в табличном процессоре Excel на базе стандартной программы “Регрессия”. При этом не следует забывать выполнить потенцирование найденного значения A' для получения коэффициента шкалы ($A = \exp A'$).

Важным индикатором точности описания любой производственной функцией эмпирических наблюдений является величина коэффициента детерминации R^2 ($0 \leq R^2 \leq 1$), который показывает долю вариации зависимой переменной (Y), обусловленную изменениями независимых переменных (K, L, t). Чем выше значение R^2 , тем точнее модель, и наоборот. Очевидно, что в данном случае величина R^2 только косвенно (через логарифмы переменных) характеризует точность построенной модели (9) и, соответственно, тесноту корреляционной связи между реализованной продукцией и производственными факторами.

По условию (8) для функции Кобба – Дугласа – Тинбергена, можно записать:

$$MRS_{LK} = \frac{\partial Y}{\partial K} : \frac{\partial Y}{\partial L} = \frac{Ae^{\omega t} \alpha K^{\alpha-1} L^{\beta}}{Ae^{\omega t} \beta K^{\alpha} L^{\beta-1}} = 1. \quad (12)$$

Отсюда оптимальная фондовооруженность K_1/L_1 определяется так:

$$\frac{K_1}{L_1} = \frac{\alpha}{\beta}. \quad (13)$$

Из формулы (9) экстремумы производственной функции Y_{\max} и C_{\min} легко рассчитываются для соответствующих значений факторов K_1 и L_1 :

$$Y_{\max} = A \left(\frac{\beta}{\alpha} \right)^{\beta} K_1^{\alpha+\beta}; \quad C_{\min} = \frac{\alpha+\beta}{\alpha} K_1; \quad Y_{\max} = A \left(\frac{\alpha}{\beta} \right)^{\alpha} L_1^{\alpha+\beta}; \quad C_{\min} = \frac{\alpha+\beta}{\beta} L_1. \quad (14)$$

2. Динамизированную CES-функцию можно записать так:

$$Y = A_0 e^{\omega t} [A_1 K^{-p} + (1 - A_1)L^{-p}]^{-\frac{1}{p}}, \quad (15)$$

где A_0 – коэффициент шкалы ($0 < A_0$); A_1 – весовой коэффициент производственного фактора ($0 < A_1 < 1$); p – коэффициент замещения ($-1 < p$).

В чем же заключаются трудности при практическом применении динамизированной CES-функции? Дело в том, что выражение (15) принципиально невозможно свести к линейному виду, следовательно, обычные методы оценки неизвестных коэффициентов (A_0, A_1, p) здесь бессильны. Поэтому в данном случае необходимо воспользоваться методами приближенной итеративной оценки, например – нелинейным методом наименьших квадратов. Указанное обстоятельство, конечно, тормозит значительное распространение CES-функции в экономических исследованиях.

М. Кубинива и другие как инструмент нахождения оценки неизвестных параметров CES-функции предложили использовать процедуру поиска решения поставленной задачи с определенной точностью на базе итеративного алгоритма минимизации целевой функции остатков модели по методу Марквардта. Указанная процедура нашла свое воплощение в программе *MACRO6*, написанной на языке Бейсик [14, с. 137–149], которая достаточно легко адаптируется к современному программному обеспечению с помощью макросов табличного процессора Excel.

Следует отметить, что указанная процедура на последней итерации характеризуется скорректированным (на число степеней свободы) коэффициентом детерминации R^2 , суммой квадратов регрессионных остатков, коэффициентом Дарбина – Уотсона и другими статистическими параметрами точности и адекватности построенной модели.

По условию (8) для CES-функции, можно записать:

$$MRS_{LK} = \frac{\partial Y}{\partial K} : \frac{\partial Y}{\partial L} = \frac{A_1}{1 - A_1} \left(\frac{L}{K}\right)^{1+p} = 1. \quad (16)$$

Отсюда оптимальная фондовооруженность K_1/L_1 определяется так:

$$\frac{K_1}{L_1} = \left(\frac{A_1}{1 - A_1}\right)^{\frac{1}{1+p}}. \quad (17)$$

Из формулы (15) экстремумы Y_{\max} и C_{\min} производственной функции легко рассчитываются для соответствующих значений факторов K_1 и L_1 :

$$Y_{\max} = A_0 K_1 \left[A_1 \left(1 + \left(\frac{1 - A_1}{A_1}\right)^{\frac{1}{1+p}} \right) \right]^{-\frac{1}{p}} ; C_{\min} = \left[\frac{1 + \left(\frac{A_1}{1 - A_1}\right)^{\frac{1}{1+p}}}{\left(\frac{A_1}{1 - A_1}\right)^{\frac{1}{1+p}}} \right] K_1 ;$$

$$Y_{\max} = A_0 L_1 \left[(1 - A_1) \left(\left(\frac{A_1}{1 - A_1}\right)^{\frac{1}{1+p}} + 1 \right) \right]^{-\frac{1}{p}} ; C_{\min} = \left[1 + \left(\frac{A_1}{1 - A_1}\right)^{\frac{1}{1+p}} \right] L_1. \quad (18)$$

3. Динамизированная линейная производственная функция имеет вид:

$$Y = A_2 K + A_3 L + \omega t, \quad (19)$$

где A_2 и A_3 – коэффициенты при производственных факторах, характеризующие их предельные продукты.

Неизвестные коэффициенты функции (19) достаточно просто оценить по методу наименьших квадратов в табличном процессоре Excel на базе стандартной программы “Регрессия”. Величина R^2 непосредственно характеризует точность построенной линейной модели и, соответственно, тесноту корреляционной связи между выпуском продукции и производственными факторами.

Легко показать, что оптимальная фондовооруженность при применении линейной функции не зависит от K и L , однако должно выполняться условие $A_2 = A_3$. При этом экстремумы производственной функции (19) имеют вид: $Y_{\max} = A_3 C_1 + A_2$; $C_{\min} = Y/A_2$.

Апробацию полученных теоретических результатов осуществим по данным первого этапа динамики фондовооруженности в машиностроении Украины (см. рис. 1), когда была выдвинута гипотеза о ее неоптимальности, то есть за 2007–2015 гг. (табл. 1).

В качестве результативной переменной Y рассматривалась реализованная продукция отрасли, а в качестве производственных факторов: K – остаточная стоимость (без учета износа) основных производственных фондов, L – затраты на оплату труда, t – фактор времени.

Таблица 1

**Исходные данные для моделирования
зависимости реализации продукции машиностроения Украины
от основных производственных факторов ***

Годы	Y (млн. грн.)	K (млн. грн.)	L (млн. грн.)	t	K/L (грн./грн.)
2007	98339,9	27854	11834,3	1	2,354
2008	121780,4	33489	14748,5	2	2,271
2009	85833,0	33475	11874,1	3	2,819
2010	97056,9	36075	15689,2	4	2,299
2011	130847,9	40417	15196,1	5	2,660
2012	140539,3	43642	17025,2	6	2,563
2013	113926,6	47268	17242,9	7	2,741
2014	101924,7	45894	16092,9	8	2,852
2015	115261,7	84052	17484,1	9	4,807

* Составлено авторами по: Державна служба статистики України [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ukrstat.gov.ua/>.

Хотя, по рекомендации литературных источников, мы должны были бы для моделирования показателей машиностроительной отрасли применять динамизированную линейную функцию (19), однако ее точность ($R^2 = 0,480$) не была самой высокой. Найденные же на третьей итерации параметры динамизированной CES-функции вообще противоречили экономическому содержанию. Оказалось, что производственная функция Кобба – Дугласа – Тинбергена обеспечивала наиболее точные результаты аппроксимации исходной информации ($R^2 = 0,524$).

Таким образом, путем логарифмирования данных таблицы 1 и применения стандартной программы регрессионного анализа табличного процессора Excel было получено следующее уравнение:

$$Y = 0,4978 e^{-0,046t} K^{0,1115} L^{1,1802}. \quad (20)$$

Модель (20) относительно точно описывает динамику реализованной продукции отрасли за исследуемый период: коэффициент детерминации свидетельствует о том, что более 52% вариации Y объясняются тремя факторами функции Кобба – Дугласа – Тинбергена. Средняя абсолютная погрешность уравнения составляет 0,138 млн. грн.

Коэффициенты эластичности α и β модели (20) показывают, что в 2007–2015 гг. рост затрат капитала на основные производственные фонды на 1% повлек за собой увеличение объема реализации за год в среднем всего на 0,1%, тогда как повышение расходов на оплату труда на 1% вызывало подъем реализации почти на 1,2%. Это указывает на определенную относительную избыточность ресурса K по сравнению с ресурсом L . Итак, подтверждается гипотеза о неоптимальной фондовооруженности на первом этапе рассматриваемого периода, которая была выдвинута в начале данного исследования.

Отрицательный темп прироста нейтрального научно-технического прогресса показывает, что в машиностроении Украины в исследуемом периоде реализация уменьшалась за год в среднем на 4,6% под влиянием всех факторов, кроме изменения затрат на основные производственные фонды и труд.

На основе данных таблицы 1 рассчитаем предельную норму замещения MRS_{LK} в отрасли за каждый год исследуемого периода (табл. 2), принимая во внимание тот факт, что для производственной функции Кобба – Дугласа – Тинбергена она определяется по формуле

$$MRS_{LK} = \frac{\beta}{\alpha} \times \frac{K}{L}. \quad (21)$$

Таблица 2

Предельная норма замещения в машиностроении Украины *

Годы	Фондовооруженность K/L	Предельная норма замещения MRS_{LK}
2007	2,354	24,907
2008	2,271	24,029
2009	2,819	29,828
2010	2,299	24,325
2011	2,660	28,145
2012	2,563	27,119
2013	2,741	29,002
2014	2,852	30,177
2015	4,807	50,862

* Рассчитано авторами.

Как было показано ранее, в условиях оптимальной фондовооруженности предельная норма замещения MRS_{LK} любой субституционной производственной функции равна единице. Если фактическая предельная норма замещения производственной функции машиностроения отличается от единицы, тогда возможны два случая: 1) $MRS_{LK} > 1$; 2) $MRS_{LK} < 1$.

Указанные случаи можно рассматривать как сигнал о нарушении оптимальной фондовооруженности, то есть об определенных диспропорциях при вложении средств в агрегированные производственные факторы “основные производственные фонды” и “труд”. В первом случае ($MRS_{LK} > 1$) это будет свидетельствовать о том, что фактическая фондовооруженность превышает оптимальную. В данной ситуации следует констатировать чрезмерные затраты капитала, направленного в основные производственные фонды, по сравнению со средствами на оплату труда, то есть в отрасли следует сократить избыточное технологическое оборудование или повысить оплату труда за счет привлечения дополнительных рабочих, усиления их материального стимулирования.

Понятно, что в ситуации, когда $MRS_{LK} < 1$, управленческие рекомендации зеркально противоположные: на предприятиях машиностроения нужно наращивать фондовооруженность живого труда.

В машиностроении Украины в 2007–2015 гг. все значения предельной нормы замещения ресурсов намного больше единицы (см. табл. 2), то есть речь идет о первом случае: фактическая фондовооруженность превышает оптимальную. На основе параметров модели (20) рассчитаем показатель средней оптимальной фондовооруженности за исследуемый период по формуле (13):

$$\frac{K_1}{L_1} = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{0,1115}{1,1802} = 0,0945. \quad (22)$$

Если обратиться к данным второго столбца таблицы 2, то можно увидеть, что фактическая фондовооруженность в отрасли значительно выше оптимальной. Особенно это касается показателей 2015 г., когда стоимость основных производственных фондов отрасли выросла на 83,1%, что привело к увеличению объема реализации продукции всего на 13,1%*. Фактическая фондовооруженность в 2015 г. достигла максимального уровня – 4,8 грн./грн. при предельной норме замещения факторов ($50,8 \gg 1$).

Понятно, что данные расчеты имеют приблизительный, оценочный характер. Они приобретут большую точность в случае повышения точности опорной модели (20), то есть по мере выполнения условия $R^2 \rightarrow 1$.

Выводы

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о дискуссионности общеизвестного постулата о положительной роли неуклонного повышения фондовооруженности в отечественном машиностроении. На определенных стадиях развития отрасли, в частности, в условиях трансформации, сопровождающейся перманентным экономическим кризисом на фоне разрыва традиционных хозяйственных связей с поставщиками комплектующих изделий и потенциальными потребителями продукции машиностроения, рост фондовооруженности может сигнализировать об относительной избыточности существенно изношенных основных производственных фондов по сравнению с затратами на оплату труда. Именно такая ситуация наблюдалась в машиностроении Украины в 2007–2015 гг.

Предложенная процедура определения оптимальной фондовооруженности на базе субституционных производственных функций, а также методы диагностики фактического состояния машиностроительной отрасли на практике показали, что выдвинутая гипотеза о неоптимальном соотношении между агрегированными факторами – расходами капитала на основные производственные фонды и оплатой труда – с точки зрения максимизации реализованной продукции в 2007–2015 гг. полностью подтвердилась.

Теоретическим фундаментом разработанной процедуры поиска оптимальной фондовооруженности является эквимаржинальный принцип из микроэкономики. Развитие его идей применительно к аппарату производственных функций и апробация полученных теоретических результатов по данным рядов динамики украинского машиностроения указывают на простоту и практическую ценность предложенной процедуры для анализа экстремальных значений реализации продукции и общих затрат капитала на отраслевом уровне.

Список использованной литературы

1. Пиндайк Р., Рабинфельд Д. Микроэкономика ; [пер. с англ.]. – СПб. : Питер, 2002. – 608 с.
2. Гальперин В.М., Игнатъев С.М., Моргунов В.И. Микроэкономика. – В 2-х томах. – СПб. : Институт “Экономическая школа”, 2004. – 482 с.

* Темпы прироста приведены по сравнению с предыдущим 2014 г.

3. Perloff J.M. Microeconomics. — Berkeley : University of California-Berkeley, 2015. — 7th Edition.
4. Debertin D.L. Agricultural Production Economics / AgEcon search. — 2012. — 431 p. [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://ageconsearch.umn.edu/record/158319>.
5. Янковой В.А. Математический анализ неоклассических производственных функций // Економіка : реалії часу. — 2016. — № 2 (24). — С. 78–83 [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://economics.opu.ua/files/archive/2016/No2/78.pdf>.
6. Янковий В.О. Економіко-математичні властивості виробничої функції Кобба-Дугласа і CES-функції // Східна Європа : економіка, бізнес та управління. — 2017. — Вип. 2. — № 7. — С. 330–336 [Электронный ресурс]. — Режим доступа : http://www.easterneurope-ebm.in.ua/journal/7_2017/63.pdf.
7. Янковий В.О. Економіко-математичні властивості виробничої функції Леонтьєва і лінійної функції // Економіка та суспільство. — 2017. — Вип. 9. — С. 1238–1244 [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://economyandsociety.in.ua/journal-9/16-stati-9/1019-yankovij-v-o>.
8. Артемова А.В., Грищенко М.А., Лисняк Д.В. Методика оценивания затрат при производстве продукции // Проблеми і перспективи розвитку підприємництва. — 2014. — № 1. — С. 6–10.
9. Вітлінський В.В. Моделювання економіки : навч. посіб. — К. : КНЕУ, 2003. — 408 с.
10. Бондар М., Махлай А. Виробничі функції в економіко-математичному моделюванні [Электронный ресурс]. — Режим доступа : http://www.rusnauka.com/14_ENXXI_2014/Matemathics/4_169090.doc.htm.
11. Шумська С.С. Інструмент виробничої функції в дослідженні української економіки // Економіка і прогнозування. — 2007. — № 4. — С. 104–123.
12. Шумська С.С. Виробнича функція в економічному аналізі : теорія і практика використання // Економіка і прогнозування. — 2007. — № 2. — С. 138–153.
13. Боровской Д.Н. Производственные функции и проблема выбора экономической-математической модели активного элемента // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. — 2008. — № 1 (28). — С. 172–177.
14. Математическая экономика на персональном компьютере : [пер. с япон.] ; [под ред. М. Кубонива]. — М. : Финансы и статистика, 1991. — 304 с.

References

1. Pindyck R., Rubinfeld D. *Мікроекономіка* [Microeconomics]. St. Petersburg, Piter, 2002 [in Russian].
2. Gal'perin V.M., Ignat'ev S.M., Morgunov V.I. *Мікроекономіка. В 2-х томах* [Microeconomics. In 2 volumes]. St. Petersburg, "Economic school" Institute, 2004 [in Russian].
3. Perloff J.M. Microeconomics. Berkeley, University of California-Berkeley, 2015, 7th Edition.
4. Debertin D.L. Agricultural Production Economics. AgEcon search, 2012, available at: <http://ageconsearch.umn.edu/record/158319>.
5. Yankovoi V.A. *Matematicheskii analiz neoklassicheskikh proizvodstvennykh funktsii* [Mathematical analysis of neoclassical production functions]. *Ekonomika: realii chasu — Economics: time realities*, 2016, No. 2 (24), pp. 78–83, available at: <http://economics.opu.ua/files/archive/2016/No2/78.pdf> [in Russian].
6. Yankovyi V.O. *Ekonomiko-matematichni vlastyivosti vyrobnychoi funktsii Kobb-Duglasa i CES-funktsii* [Economic and mathematical properties of the Cobb-Douglas production

function and CES-function]. *Skhidna Evropa: ekonomika, biznes ta upravlinnya – Eastern Europe: Economics, Business and Management*, 2017, Iss. 2, No.7, pp. 330–336, available at: http://www.easterneurope-ebm.in.ua/journal/7_2017/63.pdf [in Ukrainian].

7. Iankovyi V.O. *Ekonomiko-matematychni vlastyvoli vyrobnychoi funktsii Leont'eva i liniinoi funktsii* [Economic and mathematical properties of the Leontief production function and linear function]. *Ekonomika ta suspil'stvo – Economy and Society*, 2017, Iss. 9, pp. 1238–1244, available at: <http://economyandsociety.in.ua/journal-9/16-stati-9/1019-yankovij-v-o> [in Ukrainian].

8. Artemova A.V., Gryshchenko M.A., Lysnyak D.V. *Metodika otsenivaniya zatrat pri proizvodstve produktsii* [Methods of estimating the costs in production process]. *Problemy i perspektyvy rozvytku pidpnyemnytstva – Problems and prospects of entrepreneurship development*, 2014, No.1, pp. 6–10 [in Russian].

9. Vitlins'kyi V.V. *Modelyuvannya Ekonomiky* [Modeling the Economy]. Kyiv, KNEU, 2003 [in Ukrainian].

10. Bondar M., Makhlai A. *Vyrobnychi funktsii v ekonomiko-matematychnomu modelyuvanni* [Production functions in economic-mathematical modeling], available at: http://www.rusnauka.com/14_ENXXI_2014/Matemathics/4_169090.doc.htm [in Ukrainian].

11. Shumska S.S. *Instrument vyrobnychoi funktsii v doslidzhenni ukrains'koi ekonomiky* [The tool of production function in the development of Ukraine's economy]. *Ekonomika i prohnozuvannya – Economy and Forecasting*, 2007, No. 4, pp. 104–123 [in Ukrainian].

12. Shumska S.S. *Vyrobnycha funktsiya v ekonomichnomu analizi: teoriya i praktyka vykorystannya* [Productive function in the economic analysis: theory and practice of the use]. *Ekonomika i prohnozuvannya – Economy and Forecasting*, 2007, No. 2, pp. 138–153 [in Ukrainian].

13. Borovskoi D.N. *Proizvodstvennye funktsii i problema vybora ekonomiko-matematicheskoi modeli aktivnogo elementa* [Production functions and the problem of choosing the economic-mathematical model of the active element]. *Radioelektronni i komp'yuterni systemy – Radio electronic and computer systems*, 2008, No. 1 (28), pp. 172–177 [in Russian].

14. Kuboniwa M. *Matematicheskaya Ekonomika na Personal'nom Komp'yutere* [Mathematical Economics on a Personal Computer]. Moscow, Finances and statistics, 1991 [in Russian].

*Статья поступила в редакцию 6 апреля 2018 г.
The article was received by the Editorial staff on April 6, 2018.*