

УДК 519.237.5

Радковская Елена Владимировна,
кандидат экономических наук, доцент,
кафедра шахматного искусства и компьютерной математики,
Институт менеджмента и информационных технологий,
ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»
г. Екатеринбург, Российская Федерация

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОЦЕССАХ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Аннотация:

В статье обосновывается необходимость применения математических методов для моделирования процессов промышленного производства. Приводится пример постановки и решения задачи моделирования с использованием корреляционно-регрессионного анализа. Рассматриваются этапы решения и анализа производственной задачи.

Ключевые слова:

Математическое моделирование, регрессионный анализ, факторы, взаимозависимость, бинарные переменные.

Управление бизнес-процессами в промышленности неразрывно связано с компетентным представлением непосредственно предметной области – определенной отрасли промышленного производства. Различные отрасли промышленности реализуют очень разные по типу и направленности задачи и, соответственно, для успешного управления предполагают умение разобраться в конкретной производственном процессе и моделировать его. Конкретный вид модели, как и применяемый математический метод, определяются, исходя из специфики производства и организаторских целей [1].

Очень важно, чтобы в процессе моделирования – и в процессе обучения моделированию – осуществляющий его специалист не автоматически применял подходящую к условиям методику, но умел правильно интерпретировать промежуточные результаты и адекватно, можно сказать, творчески подходил к реализации каждого шага в многоэтапном, как правило, алгоритме построения и адаптации модели [2].

Одним из математических методов, весьма востребованных в моделировании производственных процессов, является корреляционно-регрессионный анализ. При относительной простоте применения, расчеты, основанные на реальных данных, дают достаточно надежные результаты, позволяющие не только оценить текущее состояние изучаемого процесса, но и спрогнозировать будущие результаты, а также, что особенно важно, сформулировать рекомендации относительно оптимизации движения к поставленной цели [3]. При этом, однако, регрессионный метод требует внимательного анализа и – при решении реальных производственных задач – довольно большого числа сопутствующих расчетов.

В качестве примера можно рассмотреть задачу исследования взаимовлияния некоторых производственных параметров литейного производства. Анализируя в качестве результирующей цели снижение себестоимости литья, на предварительном этапе отбираются факторы, влияющие на себестоимость. В качестве таких факторов выбраны выработка литья на одного рабочего (т), брак литья (%), стаж литейщика (лет) и система оплаты (ставка или оплата по выработке). Результирующей (зависимой) переменной является себестоимость тонны литья (р).

Полученный на первом этапе результат с обескураживающей очевидностью говорит о некачественности множественной регрессионной модели – рисунок 1.

ВЫВОД ИТОГОВ

<i>Регрессионная статистика</i>	
Множественный R	0,8627
R-квадрат	0,7443
Нормированный R-квадрат	0,7377
Стандартная ошибка	53,9313
Наблюдения	160

<i>Дисперсионный анализ</i>					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>
Регрессия	4	1312270,917	328067,7293	112,7930784	7,37941E-45
Остаток	155	450829,9512	2908,58033		
Итого	159	1763100,868			

	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Нижние 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>
Y-пересечение	944,176	172,921	5,460	0,000	602,590	1285,762
Выработка	0,680	3,161	0,215	0,830	-5,564	6,924
Брак	142,561	333,317	0,428	0,669	-515,869	800,990
Стаж	-9,726	3,499	-2,780	0,006	-16,639	-2,814
Оплата	1,847	19,781	0,093	0,926	-37,228	40,922

Рисунок 1 – Результаты выполнения 1-го этапа регрессионного анализа

В первую очередь обращают на себя внимание незначимые коэффициенты регрессии при переменных Выработка, Брак и Оплата: вероятность выполнения нуль-гипотез для них слишком высока. То есть, судя по результатам 1-го шага, на Себестоимость литья (для рассматриваемой выборки) влияет лишь Стаж литейщика, причем с обратным знаком.

Однако, применяя знания о производственном процессе, целесообразно предположить, что низкое качество модели связано с тем, что используемые факторные переменные не являются независимыми друг от друга, что является одной из предпосылок метода наименьших квадратов, используемого при решении регрессионных задач. Матрица автокорреляций независимых переменных подтверждает это предположение. Поэтому на следующих этапах необходимо провести исследование возможных взаимосвязей факторных переменных и формирование нового перечня показателей, оказывающих достоверное влияние на Себестоимость.

При решении реальной производственной задачи очень важным является момент исследования тех факторов, которые могут стать регулируемыми в организации конкретного производства. В рассматриваемой задаче такими факторами являются Стаж и Оплата, поскольку и найм сотрудников, и выбор системы оплаты их труда – прерогатива организаторов производства. Проверка возможной взаимозависимости между этими переменными подтвердила предположение об отсутствии взаимовлияния: коэффициент их корреляции составляет 0,09871. Это дает нам возможность использовать их в качестве вспомогательных, не входящих в основное регрессионное уравнение, показателей, которое в этом случае будет характеризовать зависимость Себестоимости от Выработки и Брака. На рисунке 2 приведены результаты поиска именно этой зависимости.

Уточненный коэффициент детерминации полученной модели свидетельствует о том, что 72,81% изменения Себестоимости литья обуславливается изменением Выработки и Брака. Вероятности выполнения нулевых гипотез для коэффициента детерминации и коэффициентов регрессии пренебрежимо малы. Таким образом, в первом приближении можно считать, что на данном этапе получена качественная регрессионная модель:

$$\text{Себестоимость} = 1271,648 - 6,659 \cdot \text{Выработка} + 603,425 \cdot \text{Брак}.$$

При этом между Брак напрямую влияет на Себестоимость: при росте Брака на 1% Себестоимость тонны литья растет на 603,425 р. Между Выработкой и Себестоимостью, наоборот, связь обратная: увеличение Выработки одного рабочего на 1 тонну влечет за собой снижение Себестоимости на 6,659 р.

ВЫВОД ИТОГОВ

<i>Регрессионная статистика</i>	
Множественный R	0,8553
R-квадрат	0,7315
Нормированный R-квадрат	0,7281
Стандартная ошибка	54,9140
Наблюдения	160

Дисперсионный анализ

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>
Регрессия	2	1289660,65	644830,3249	213,8355743	1,49816E-45
Остаток	157	473440,2185	3015,542793		
Итого	159	1763100,868			

	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Нижние 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>
У-пересечение	1271,648	61,717	20,604	0,000	1149,745	1393,551
Выработка	-6,659	0,794	-8,384	0,000	-8,228	-5,090
Брак	603,425	132,259	4,562	0,000	342,189	864,661

Рисунок 2 – Результаты выполнения 2-го этапа регрессионного анализа

Непосредственно эти результаты, при всей их достоверности, не дают нам возможности непосредственно влиять ни на производственный процесс, ни на снижение себестоимости литья. Однако, как было отмечено выше, выбранные независимые переменные могут подвергаться регулированию за счет влияющих на них факторов. При этом априори можно предположить, что влияние фактора Стаж будет положительным на Выработку и отрицательным на Брак – вопрос только в величине этого влияния. Влияние же системы оплаты труда не столь очевидно и наиболее целесообразно его выявлять непосредственно в ходе исследования. Переменная Оплата имеет бинарную природу: в заданных условиях она принимает значение «0» при установленной ставке месячной заработной платы и значение «1» при оплате труда по результатам выработки работника.

На рисунке 3 представлены результаты регрессионного анализа зависимости Выработки от Стажа и Оплаты. На рисунке 4 – результаты регрессионного анализа зависимости Выработки от тех же показателей.

<i>Регрессионная статистика</i>	
Множественный R	0,9891
R-квадрат	0,9782
Нормированный R-квадрат	0,9780
Стандартная ошибка	1,3634
Наблюдения	160

Дисперсионный анализ

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>
Регрессия	2	13116,78977	6558,394884	3528,264714	3,2623E-131
Остаток	157	291,8341112	1,858815995		
Итого	159	13408,62388			

	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Нижние 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>
У-пересечение	52,504	0,225	233,315	0,000	52,060	52,949
Стаж	0,988	0,012	83,901	0,000	0,964	1,011
Оплата	2,690	0,217	12,402	0,000	2,261	3,118

Рисунок 3 – Результаты выполнения 3-го этапа регрессионного анализа

Уравнение искомой зависимости выглядит следующим образом:

$$\text{Выработка} = 52,504 + 0,988 \cdot \text{Стаж} + 2,690 \cdot \text{Оплата}.$$

Как видно из уравнения регрессии, с увеличением опыта работы на 1 год в среднем выработка рабочего увеличивается на 0,988 т. Применение сдельной системы оплаты труда стимулирует литейщика на увеличение выработки в среднем на 2,69 т., т.е. прирост Выработки в этом случае составляет 4,01%.

Регрессионная статистика	
Множественный R	0,9725
R-квадрат	0,9457
Нормированный R-квадрат	0,9450
Стандартная ошибка	0,0129
Наблюдения	160

Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	2	0,457283031	0,228641515	1367,906237	4,6183E-100
Остаток	157	0,02624209	0,000167147		
Итого	159	0,48352512			

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%
Y-пересечение	0,121	0,002	56,759	0,000	0,117	0,125
Стаж	-0,005	0,000	-44,907	0,000	-0,005	-0,005
Оплата	0,046	0,002	22,254	0,000	0,042	0,050

Рисунок 4 – Результаты выполнения 4-го этапа регрессионного анализа

В варианте поиска зависимости Брака от влияющих факторов уравнение регрессии принимает вид:

$$\text{Брак} = 0,121 - 0,005 \cdot \text{Стаж} + 0,046 \cdot \text{Оплата}.$$

Как мы и предполагали, увеличение Стажа работы на 1 год влечет за собой уменьшение Брака на 0,5%. При применении сдельной оплаты труда Брак увеличивается в среднем на 4,6%.

Фактически, уже по приведенным результатам можно сделать вывод о сомнительной эффективности внедрения системы сдельной оплаты на литейном производстве – по крайней мере, для исследуемой выборки. Полученные результаты говорят о том, что стремление больше заработать приводит в среднем не только к росту выработки (на 4,01%), но и, одновременно, к увеличению процента брака (на 4,6%).

Однако если пойти дальше и провести градацию трудовых ресурсов предприятия по Стажу работы, то результаты получаются и точнее, и интереснее. В частности, для работников со Стажем менее 15 лет применение сдельной оплаты труда Выработка увеличивается в среднем на 4,42%, а Брак растет в среднем на 6,5%. Для более же опытных литейщиков при внедрении сдельной оплаты труда рост Выработки составляет в среднем 3,68%, а рост Брака при этом в среднем равен 1,07%.

Таким образом, по итогам дифференцированного анализа можно сформулировать более конкретные предложения по организации труда на исследуемом литейном производстве. Первый и очевидный вывод: предпочтительнее привлекать к работе более опытных сотрудников. Второй вывод состоит в том, что для литейщиков с небольшим стажем работы предпочтительнее применять фиксированную ставку месячной заработной платы, для наиболее же опытных работников более выгодным является применение сдельной системы оплаты труда.

Естественно, можно увеличить как дифференциацию данных, так и набор изучаемых показателей в зависимости от целей проводимого исследования. В частности, в данном случае можно рассматривать градацию работников по более коротким отрезкам трудового стажа, можно ввести в качестве независимого фактора показатель квалификации рабочих, различных видов сырья и т.п.

Несмотря на то, что приведенный анализ является иллюстративным, на его основе становится очевидным положение о том, что чем более глубоким и широким оказывается

спектр исследуемых параметров, тем более точные и достоверные выводы можно получить для оптимизации работы промышленного предприятия. А применение релевантных ситуации методов математического моделирования позволяет достичь поставленных целей наиболее корректным образом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Орехова С.В., Мисюра А.В., Кислицын Е.В. Управление возрастающей отдачей высокотехнологичной бизнес-модели в промышленности: классические и экосистемные эффекты [Текст] // Управленец, 2020, Т. 11, № 4.
2. ВІ-технологии и корпоративные информационные системы в оптимизации бизнес-процессов: Материалы VII Международной научно-практической конференции / Отв. за выпуск Д.М. Назаров, С.В. Бегичева, Е.В. Зубкова. – Екатеринбург, 2020.
3. Эконометрика [Текст]: Учеб. пособие / Радковская Е.В., Кочкина Е.М., Дроботун М.В., Фер Т.В., Попова Н.П., Иванов И.В. – Роли, Северная Каролина, США, 2019.

Radkovskaya Elena V.,

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,
Department of Chess Art and Computer Mathematics,
Institute of Management and Information Technology,
Ural State University of Economics
Yekaterinburg, Russian Federation

MATHEMATICAL MODELING IN INDUSTRIAL PRODUCTION PROCESSES

Abstract:

The article substantiates the need to use mathematical methods for modeling industrial production processes. An example of setting and solving a modeling problem using correlation-regression analysis is given. The stages of solving and analyzing the production problem are considered.

Keywords:

Mathematical modeling, regression analysis, factors, interdependence, binary variables.