

М. А. Макушин¹, П. В. Петров¹*

Анализ и построение корреляционных зависимостей для выбора модели обрабатывающего центра на основе штучной трудоемкости

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация
* e-mail: ingbeksil@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена разработке методики выбора оборудования типа «обрабатывающий центр» на основе показателя штучной трудоемкости для оптимизации производственных процессов для изготовления деталей механической части оптических приборов. В работе используется корреляционно-регрессионный анализ для оценки влияния различных технических параметров оборудования на штучную трудоемкость производства. Разработанная методика позволяет численно оценить влияние факторов, провести анализ значимости параметров и расчет ожидаемой трудоемкости для новых деталей. Результаты исследования представлены в виде уравнений регрессии, которые могут быть использованы для прогнозирования трудоемкости и выбора оптимального оборудования. Для анализа использовался инструментарий программы Excel. Результаты исследования предоставляют возможность оптимизировать выбор оборудования, учитывая его влияние на производственные процессы.

Ключевые слова: штучная трудоемкость, корреляционно-регрессионный анализ, выбор оборудования, excel

М. А. Makushin¹, P. V. Petrov¹*

Analysis and construction of correlation dependencies for the selection of a processing center model based on the unit labor intensity

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
* e-mail: ingbeksil@mail.ru

Annotation. The article is devoted to the development of a methodology for selecting equipment of the "processing center" type based on the indicator of unit labor intensity for optimizing production processes in the manufacture of parts of the mechanical part of optical devices. The work uses correlation and regression analysis to assess the impact of various technical parameters of equipment on the unit labor intensity of production. The technique allows us to numerically assess the influence of factors, analyze the significance of parameters and calculate the expected labor intensity for new parts. The results of the study are presented in the form of regression equations that can be used to predict labor intensity and select the optimal equipment. The tools of the Excel program were used for the analysis. The results of the study provide an opportunity to optimize the choice of equipment, taking into account its impact on production processes.

Keywords: unit labor intensity, correlation and regression analysis, equipment selection, excel

Введение

Современной технологической стратегией для реализации мало-операционного производства сложных металлических деталей приборов является обработка резанием на станках типа обрабатывающий центр (ОЦ) [1], при этом выбор

оптимального оборудования играет ключевую роль в обеспечении эффективности производственных процессов. Особенно важным является выбор ОЦ, учитывая его значительное влияние на производительность и качество производства. При этом одним из основных критериев при выборе оборудования является трудоемкость изготовления детали, особенно в случае производства деталей различных типов.

Целью настоящего исследования является разработка корреляционных зависимостей для выбора ОЦ на основе показателя штучной трудоемкости. Предлагаемый подход включает в себя использование корреляционно-регрессионного анализа с применением средств Excel [2] для оценки связи между техническими характеристиками оборудования и фактической трудоемкостью его использования.

В настоящем введении представлена общая концепция методики, обоснована актуальность выбора данного подхода и кратко описаны основные этапы исследования. Далее в статье будет подробно рассмотрено описание методики, анализ полученных результатов и их практическое применение.

Обоснование выбора данной темы и методологии исследования основывается на актуальности проблемы оптимизации производственных процессов и важности выбора оборудования с учетом трудоемкости его использования. Результаты данного исследования могут быть полезны для предприятий, стремящихся к оптимизации производственных расходов и повышению эффективности производственных процессов.

Методы и материалы

Для получения результатов использовались системный подход, поиск, обзор и анализ тематической информации, доступной в сети Интернет и профильной технической литературе. Для анализа данных и вывода формул была использована программа Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

Корреляционные уравнения, разрабатываемые на основе регрессионного анализа, универсальны по принципу построения и широко применяются в различных областях знаний. Их основное назначение – формализовать и обеспечить быстроту оценки тех или иных процессов. Что касается точности и качества оценки, то они, как правило, не велики (погрешность не превышает 31 %) [3]. Причина низкой точности в обращении к прошлому опыту и вынужденное упрощение оцениваемой ситуации из-за сложности ее полного математического описания. Поэтому утверждать, что корреляционное уравнение является лучшей формулой для решения проблем, не верно. Главная область применения корреляционных уравнений – оперативное получение предварительных решений с определенной погрешностью. Такая же цель определена перед корреляционными уравнениями в области технической подготовки приборостроительного производства и, в частности, на ранних этапах разработки технологических процессов [4].

В общем случае, уравнение регрессионного анализа имеет вид:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_m) + \xi, \quad (1)$$

где f – заранее не известная функция, подлежащая определению; ξ – ошибка аппроксимации данных.

Уравнение (1) принято называть выборочным уравнением регрессии. Этим уравнением охарактеризована зависимость между вариацией показателя и вариациями факторов. Корреляционный коэффициент, который можно назвать так же мерой корреляции, измеряет долю вариации показателя, связанную с вариацией факторов. То есть, корреляцию показателя и факторов нельзя трактовать как связь их уровней, а регрессионный анализ не способен объяснить роль факторов в создании итогового показателя.

Еще одна особенность заключается в оценки степени влияния каждого фактора на показатель: регрессионное уравнение не способно обеспечить оценку отдельного влияния каждого фактора на итоговый показатель, такая оценка возможна лишь в случае, когда все другие факторы не связаны с изучаемым, а их мера равна нулю. В случае, если факторов несколько, будет получена лишь их комплексная зависимость на итоговый показатель, в которой возможно воздействие одного из факторов повторно через другие.

Методика вывода корреляционных зависимостей для выбора оборудования типа ОЦ в среде Excel основывается на анализе статистических данных о штучной трудоемкости и параметрах деталей, изготавливаемых на этих станках.

На этапе формулировки задачи была поставлена задача разработки модели расчета неполного штучного времени изготовления детали для заданной модели станка с применением регрессионного анализа.

В качестве статистического материала для вывода формул регрессионного анализа были использованы данные, предоставленные оператором станка с ЧПУ. Эти данные включают в себя параметры и характеристики ОЦ Mazak VCS 530 SL, и маршрутные карты деталей, изготавливаемых на нем [5].

Для осуществления регрессионного анализа рассматривались следующие переменные: объем детали, объем заготовки, скорость снятия материала, коэффициент использования материала, объем снятого материала, вид заготовки, габаритные размеры, количество обрабатываемых поверхностей, количество исполнительных размеров, особенности наладки ОЦ, материал детали.

Было принято решение остановиться на выборе трех независимых переменных, чтобы не усложнять модель и уменьшить вероятность ошибок при анализе. При выводе формулы, перебирая возможные комбинации независимых переменных, по показателю наименьшей погрешности и отражению сложности конструкции детали были выбраны следующие переменные, приведенные в табл. 1:

– зависимые: неполное (без учета времени обслуживания рабочего места и времени на личные надобности рабочего) штучное время изготовления детали ($T_{н.шт.}$)(Y), минуты;

– независимые: объем снятого материала(X_1), см³, коэффициент, отражающий вид заготовки(X_2), наибольший габаритный размер (X_3), мм.

Таблица 1

Зависимая и независимые переменные для проведения регрессионного анализа стальных деталей

Деталь №	Общий вид детали	Т _{н.шт.} , минуты	Объем снятого материала, см ³	Вид исходной заготовки	Наибольший габаритный размер, мм
		Y	X ₁	X ₂	X ₃
1		139,13	301,30	пруток, X ₂ = 1	267,5
2		58,65	52,18	пруток, X ₂ = 1	22,3
3		128,43	86,40	штучная, X ₂ = 2	80,0
4		69,03	141,70	пруток, X ₂ = 1	125,0
5		11,53	12,42	пруток, X ₂ = 1	28,9

Для выполнения оценки неизвестных параметров, необходимо сначала определить само уравнение. Для описания зависимости Y от трех переменных линейная модель имеет вид [6]:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3. \quad (2)$$

В данном случае параметры β_0 , β_1 , β_2 и β_3 являются коэффициентами регрессии, определяющими влияние присущей им характеристики x_i , при условии, что все остальные переменные являются неизменными.

Используя выборку, полученную в ходе структурирования полученной информации, для вычисления коэффициентов регрессии использовался матричный подход [7]. Результат вычислений коэффициентов регрессии: $\beta_3 = 0,86$; $\beta_2 = 74,27$; $\beta_1 = -0,55$; $\beta_0 = -50,42$.

Так как расчет регрессионного анализа возможен только для линейной связи, следует провести изучение типа связи. Для этого были построены графики точек, состоящий из регрессора и зависимой переменной, чтобы определить влияние каждой из независимой переменной в отдельности (рис. 1).

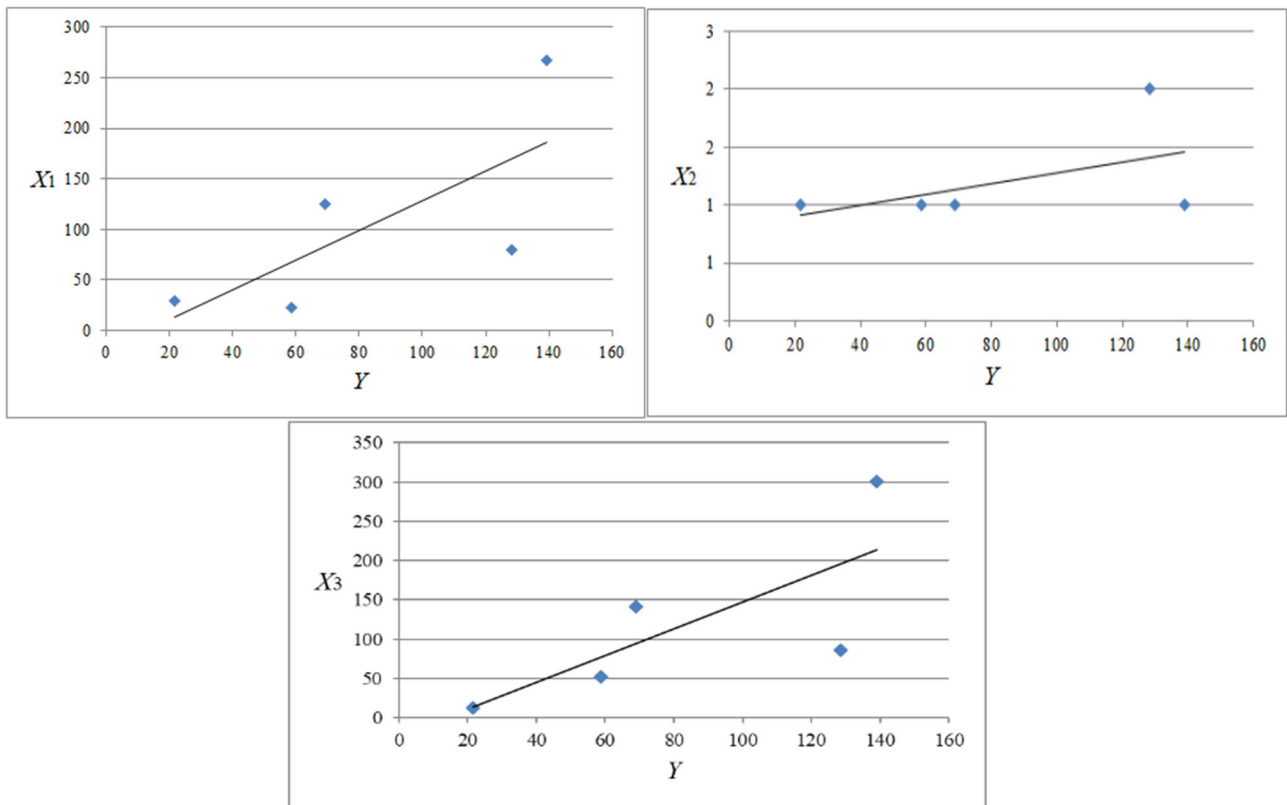


Рис. 1. Зависимости неполного штучного времени изготовления детали от независимых переменных в отдельности

Из данных графиков следует, что линейность связи только условно присутствует [8]. Для расчетов предположим связь линейной, в дальнейшем доказательство линейности будет рассчитано при помощи F-анализа.

Итоговая формула имеет следующий вид [9]:

$$T_{н.шт.} = -0,551x_1 + 74,274x_2 + 0,86x_3 - 50,43. \quad (3)$$

Проверка для первой детали:

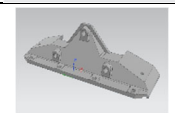
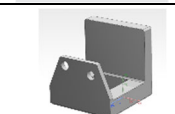
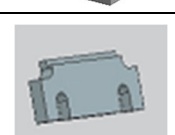
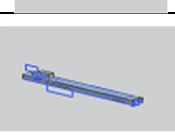
$$-0,551 * 267,5 + 74,274 * 1 + 0,86 * 301,28 - 50,43 = 135,55. \quad (4)$$

Действительное неполное штучное время изготовления первой детали равно 139,13 минут, прогноз – 135,55 минут.

По аналогии с обработкой деталей из сталей, были выведены уравнения для деталей из алюминиевых сплавов. В связи с недостатком данных для использования независимой переменной объема снятого материала, были использованы следующие независимые переменные, приведенные в табл. 2: число исполнительных размеров, вид исходной заготовки, наибольший габаритный размер.

Таблица 2

Зависимая и независимые переменные для проведения регрессионного анализа деталей из алюминиевых сплавов

Деталь №	Общий вид детали	Т _{н.шт.} , минуты	Число исполнительных размеров	Вид исходной заготовки	Наибольший габаритный размер, мм
		Y	X ₁	X ₂	X ₃
1		251,90	67	пруток, X ₂ = 1	160,0
2		142,70	80	пруток, X ₂ = 1	244,0
3		479,41	25	пруток, X ₂ = 1	237,0
4		13,06	31	пруток, X ₂ = 1	125,0
5		43,83	41	пруток, X ₂ = 1	267,5

В результате получилась следующая формула для алюминиевых сплавов:

$$T_{н.шт.} = 0,66x_1 + 0x_2 + (-0,94)x_3 + 93,59. \quad (5)$$

Проверка для второй детали:

$$0,66 * 244 + 0 * 1 + (-0,94) * 80 + 93,59 = 179,43. \quad (6)$$

Действительное неполное штучное время изготовления первой детали равно 142,70 минут, прогноз – 179,43 минут.

Полученные регрессионные модели могут быть использованы для расчета ожидаемой штучной трудоемкости изготовления новых деталей. Путем подстановки значений технических характеристик в уравнения моделей и, используя функционал программы Excel для быстрого и удобного изменения самих уравнений, можно предварительно оценить трудоемкость обработки на различных ОЦ.

На основе результатов анализа можно выбрать наиболее подходящее оборудование с оптимальными характеристиками для минимизации штучной трудоемкости и повышения эффективности производства.

Достоинства и недостатки корреляционно-регрессионного анализа

Корреляционно-регрессионный анализ, используемый для выбора ОЦ на основе показателя штучной трудоемкости, представляет собой мощный инструмент с несколькими важными достоинствами. В числе них:

– количественная оценка влияния характеристик станка: анализ позволяет численно оценить влияние различных технических параметров станка на штучную трудоемкость, что обеспечивает научное обоснование при выборе оборудования;

– расчет ожидаемой трудоемкости для новой детали: используя регрессионные модели, можно предварительно оценить трудоемкость для новых деталей, что позволяет сэкономить время и ресурсы при планировании производства;

– анализ значимости факторов: корреляционно-регрессионный анализ позволяет определить значимость влияния различных факторов на результат, что помогает выделить ключевые параметры при выборе оборудования;

– простота в реализации: использование стандартных статистических инструментов, таких как Excel, делает этот метод доступным для широкого круга пользователей.

Однако, следует также учитывать некоторые недостатки этого метода:

– необходимость в большом массиве данных: для построения адекватных моделей требуется наличие обширного объема статистических данных, что может быть затруднительно при ограниченной доступности информации;

– потребность в периодическом уточнении корреляционных зависимостей ввиду обновления статистических данных с учетом сведений о наиболее совершенных конструкциях, близких по времени своего создания к новой разработке. Большая трудоемкость работ по сбору и обработке необходимого статистического материала в требуемом объеме является сдерживающим фактором более широкого применения корреляционных зависимостей [10];

– неучтенные факторы: анализ не учитывает некоторые важные факторы, такие как жесткость системы и качество инструмента, что может привести к недооценке или переоценке трудоемкости производственного процесса;

– ограниченная область применения: использование метода ограничено наличием статистических данных и их качеством, что снижает его универсальность;

– погрешность результатов: при нарушении допущений регрессионного анализа результаты могут иметь значительную погрешность, что требует дополнительной оценки и внимательности при интерпретации.

Заключение

Таким образом, разработана методика вывода корреляционных зависимостей, предназначенная для предварительного выбора оборудования типа ОЦ по показателю штучной трудоемкости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Макушин М.А., Петров П.В. Анализ возможностей разработки мало-операционной технологии изготовления механической части оптических приборов/ Интерэкспо ГЕО-

Сибирь. XVII Междунар. науч. конгр., 18–20 мая 2022 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 6 : Магистерская научная сессия «Первые шаги в науке». – Новосибирск : СГУГиТ, 2022. – ISSN 2618-981X. – С. 149-156.

2. Множественная регрессия в EXCEL [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://excel2.ru/articles/mnozhestvennaya-regressiya-v-ms-excel> (дата обращения: 10.05.2024).

3. Акулович Л.М. Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении: учебное пособие / Л.М. Акулович, В.К. Шелег. – М. : ИНФРА-М Издательский Дом, Нов.знание, 2016. – 488 с.

4. Фурсенко С.Н. Автоматизация технологических процессов: учебное пособие / С.Н. Фурсенко, Е.С. Якубовская, Е.С. Волкова. – М. : НИЦ ИНФРА-М; Мн.: Нов.знание, 2015. – 377 с.

5. MAZAK Станки по металлу [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.mazakusa.com/machines/vertical-center-smart-530c/>.(дата обращения: 10.05.2024).

6. Лисицын Д.В. Методы построения регрессионных моделей: учебное пособие / Д.В. Лисицын. – Новосибирск: НГТУ, 2011. – 76с.

7. Васильева Н.И. Системы линейных уравнений: методические указания / И.Н. Васильева, Е.А. Воробьева, Р.Ш. Минабудникова. – Омск: Омский государственный технический университет, 2001. – 40с.

8. Шашков В.Б. Прикладной регрессионный анализ (многофакторная регрессия) : учебное пособие / В.Б. Шашков. – Оренбург : ГОУ ВПО ОГУ, 2003. – 363 с.

9. Рыбаков К.И. Линейная регрессия : методическое пособие / К.И. Рыбаков. – Нижний Новгород: ННГУ, 2010. – 11с.

10. Оценка технологичности и унификации машин/ В.Г. Кононенко, С.Г. Кушнарченко, М.А. Прялин.- Москва: Машиностроение, 1986. – 160 с.

© М. А. Макушин, П. В. Петров, 2024