

## Компьютерное моделирование процесса выбора уникального промышленного оборудования

Д.Т. Курушбаева<sup>1</sup>, Н.М. Оскорбин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Университет им. Шакарима (Семей, Казахстан)

<sup>2</sup>Алтайский государственный университет (Барнаул, Россия)

## Simulating the Selection of Unique Industrial Equipment with Computer Models

D.T. Kurushbayeva<sup>1</sup>, N.M. Oskorbin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Shakarim University (Semey, Kazakhstan)

<sup>2</sup>Altai State University (Barnaul, Russia)

В данной работе проводится компьютерное обоснование оптимального выбора количества уникальных рабочих мест применительно к условиям промышленных предприятий. Снижение общих издержек на создание и на эксплуатацию рабочих мест достигается путем оптимизации оплаты труда персонала. Исследование выполнено с использованием авторских математических моделей поведения работников в стимулирующей среде и оптимизации количества используемых однотипных рабочих мест. Методами вычислительной математики и компьютерного моделирования проведено исследование возможных решений при организации уникальных рабочих мест. Показано, что имеются варианты сокращения их расчетной численности путем увеличения рабочих смен, найма квалифицированных работников и использования стимулирующих расценок оплаты труда. Приведены результаты модельных вычислительных экспериментов оптимальной численности рабочих мест при выполнении заданного объема работы в две смены в трех следующих вариантах: привлечение работников среднерыночной квалификации; привлечение более квалифицированных работников с оплатой труда по среднерыночным условиям; привлечение более квалифицированных работников с оплатой труда по повышенным расценкам.

**Ключевые слова:** компьютерное моделирование, методы оптимизации, бережливое производство, вычислительные эксперименты.

DOI: 10.14258/izvasu(2023)1-19

### Введение

При обосновании количества требуемых рабочих мест и численности производственного персонала согласно концепции бережливого производства значительную роль играют интенсивность и регулярность

This paper explores the optimal number of unique jobs for an industrial enterprise by using computer simulations to reduce overall costs of creating and operating these jobs through staff remuneration optimization. The study utilizes the author's mathematical models of workers' behavior in a stimulating environment and optimization of the number of similar jobs used in industrial enterprises. The paper employs computational mathematics and computer modeling to analyze potential solutions for organizing unique workplaces. The study demonstrates that the estimated number of unique jobs can be reduced by increasing work shifts, hiring qualified workers, and offering incentive wage rates. The paper presents the results of model computational experiments on the optimal number of jobs for performing a given amount of work in two shifts under three scenarios: attracting workers with average market qualifications, attracting more qualified workers with wages under average market conditions, and attracting more qualified workers with wages at increased rates.

**Key words:** computer simulation, optimization methods, lean manufacturing, computational experiments.

производственных заданий [1]. В теории при случайной интенсивности потока производственных заданий указанное обоснование относится к предметной области многоканальных систем массового обслуживания [2]. В данной статье рассматривается обоснова-

ние количества рабочих мест в условиях промышленных предприятий на длительных интервалах времени, в течение которых интенсивность входного потока работ может считаться постоянной.

Предполагаем, что для выполнения большого объема работ на однотипном промышленном оборудовании привлекаются активные работники, для которых интенсивность выполнения заявок существенно зависит от оплаты труда. В этом случае математическое моделирование производственных процессов может проводиться в рамках теории активных систем [3], а поведение работников — описываться с использованием результатов работ [4–6].

Научными результатами исследования выступают анализ математической модели оптимизации числа рабочих мест при сбалансированной системе оплаты труда работникам многостаночного производства и компьютерное моделирование нового класса систем массового обслуживания. Исследование выполнялось методами вычислительного эксперимента.

### Математические модели и методы их идентификации

Представленные ниже математические модели в совокупности относятся к решению проблемы оптимального выбора количества однотипных рабочих мест в предположении, что поток производственного задания является заданным и постоянным на длительном интервале времени. Первая модель (M1) используется для оценки активности работника в зависимости от ставки заработной платы, т.е. объема производственного задания, который он может выполнить в течение рабочей смены.

Вторая модель (M2) позволяет оптимизировать ставку заработной платы для всех рабочих мест, при которой суммарные затраты за оплату труда и на создание и эксплуатацию рабочих мест были бы минимальными.

Рассматриваем первую математическую модель и идентификацию ее параметров. В работе [5] предложена зависимость оптимальной активности работника от ставки оплаты труда  $x = \tilde{x}(p)$  в виде следующего выражения:

$$x = \tilde{x}(p) = \begin{cases} \bar{x} - \frac{\delta}{p}, & \text{если } p_{\min} = \left(\frac{\delta}{\bar{x}}\right); \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (1)$$

где  $\delta, \bar{x}$  — параметры функции активного поведения работника, которые следует определить при условии:  $\delta > 0; \bar{x} > 0$ .

Для моделируемых работников параметры функции (1) будут иметь следующие выражения [5]:

$$\bar{x} = \frac{x_H}{\alpha}; \quad \delta = \frac{x_H \cdot (1 - \alpha) \cdot p_H}{\alpha \cdot \nu}. \quad (2)$$

В формулах (1), (2) приняты следующие обозначения:  $\bar{x}$  — потенциал трудовой активности (ПТА) работника — объем работы, который он способен выполнить в течение рабочего дня;  $x_H$  — среднедневная норма выработки на локальном рынке труда;  $p_H$  — норма оплаты часовой нормы выработки (ЧНТ);  $\alpha$  — средний для локального рынка и профессии рабочих уровень реализации потенциала трудовой активности;  $\nu$  — индекс валентности работника, который отражает его отношение к денежному вознаграждению в сравнении со среднерыночным работником ( $\nu \in [0,5; 1,5]$ ).

Перечисленные параметры можно оценивать для среднерыночного работника и для моделируемого работника экспертными и аналитическими методами. Для оценки  $x_H$  используется следующая формула:  $x_H = k_{\text{кв}} \cdot k_{\text{ин}} \cdot T$ , где  $k_{\text{кв}}, k_{\text{ин}}$  — индексы квалификации и интенсивности труда работника,  $T$  — среднедневная продолжительность рабочей смены.

В представленной задаче мы считаем, что параметры математической модели (1) являются известными, но при организации комплекса рабочих мест можно планировать и реализовать подбор персонала согласно рекомендациям работы [1]. Тогда дополнительной задачей компьютерного моделирования является возможность проведения соответствующих вычислительных экспериментов.

Рассматриваем модель M2. Предположим, что для комплекса однотипных рабочих мест имеется возможность установить ставку оплаты труда рабочих в заданных пределах  $p \in [p_H; \beta \cdot p_H], \beta > 1$ . Пусть  $m, x$  — требуемое число рабочих мест и уровень активности рабочих. Тогда задача выбора оптимальной ставки заработной платы запишется следующим выражением [6]:

$$p^* = \min_p \left( \frac{H \cdot h}{x} + p \cdot H \right), \quad p \in [p_H; \beta \cdot p_H]. \quad (3)$$

В этом выражении первое слагаемое — удельные финансовые затраты на создание и эксплуатацию всех рабочих мест; второе слагаемое — полные часовые затраты на оплату труда работников на  $m$  рабочих местах.

Рассматриваем часовую работу ( $T = 1$ ), тогда решение задачи (3) имеет вид [6]:

$$p^* = \begin{cases} p_H, & \text{если } h < h_{\min} = \frac{p_H \cdot (\nu + \alpha - 1)^2}{\alpha \cdot \nu \cdot (1 - \alpha)}; \\ \beta \cdot p_H, & \text{если } h > h_{\max} = \frac{p_H \cdot (\beta \cdot \nu + \alpha - 1)^2}{\alpha \cdot \nu \cdot (1 - \alpha)}; \\ \frac{p_H \cdot (1 - \alpha)}{\nu} + \sqrt{\frac{p_H \cdot h \cdot \alpha \cdot (1 - \alpha)}{\nu}}, & h_{\min} \leq h \leq h_{\max} \end{cases} \quad (4)$$

Согласно формуле (4) оптимальная ставка зависит от средней трудовой характеристики работников и удельных затрат  $h$  на создание и эксплуатацию одного рабоче-

го места [6]. Заметим, что  $p^*$  не зависит от среднечасового объема производственного задания  $H$  для всего комплекса уникального оборудования, но при малом его значении необходимо учитывать требование целочисленности расчетного числа рабочих мест.

Варианты численных значений параметров  $H, h, \beta$  для вычислительных экспериментов оценивают специалисты предприятия по рыночной информации промышленного оборудования и по условиям локального рынка труда.

#### Компьютерная модель и результаты оптимизации числа рабочих мест

Компьютерная программа поддержки математических моделей (1), (3) составлена в среде Excel на трех листах. Электронные таблицы двух первых листов поддерживают модель (1) расчета показателей трудовой активности рабочей команды, которая планируется к выполнению потока работы в плановый период времени. Числовые данные относятся к созданию одинаковых рабочих мест (например, токарных станков), а работники по квалификации и по интенсивности труда оцениваются в условиях рынка труда Семипалатинска Республики Казахстан. Методические основы моделирования подобных процессов рассмотрены в работе [7], а в работах [8–10] уточнены особенности обследования производственных систем и подготовки исходных данных.

В качестве примера рассмотрим результаты компьютерного моделирования, в которых ставится за-

дача определить число планируемых рабочих мест для двух производственных ситуаций при работе оборудования в две смены:

1. Провести расчет требуемого числа рабочих мест для более квалифицированных работников в сравнении со среднерыночными работниками в рассматриваемых условиях выбранного локального рынка труда.

2. Провести расчет возможного снижения числа рабочих мест при дополнительном стимулировании работников за счет более высокой расценки путем решения задачи оптимизации (3).

Считаем, что каждое рабочее место обслуживает один работник, а стоимость их создания и обслуживания является одинаковой. В каждом варианте организации рабочих мест подобрана команда рабочих с близкими трудовыми характеристиками. Данное предположение позволяет значительно упростить математические и компьютерные модели без потери существенных научных результатов. В прикладных вычислительных задачах следует проводить компьютерное моделирование с учетом индивидуальных трудовых характеристик работников и рабочих мест.

Рассмотрим методику и результаты компьютерного моделирования оптимального числа рабочих мест при среднерыночных и повышенных условиях оплаты труда квалифицированных рабочих. Средние трудовые показатели работников и характеристика локального рынка труда приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Трудовая характеристика рабочих

№	Показатели	Код	Значение
1	Продолжительность рабочей смены, час	$T$	8,00
2	Коэффициент интенсивности труда, средний	$k_{ин}$	1,50
3	Коэффициент квалификации, средний	$k_{кв}$	1,95
4	Валентность команды работников, средняя	$\nu$	1,40

Таблица 2

Характеристика локального рынка труда

№	Показатели для данной профессии	Код	Значение
1	Средний коэффициент интенсивности труда	$\alpha$	0,70
2	Месячная заработная плата работника, тенге	–	250000
3	Ставка заработной платы средняя, тенге/НТЧ	$p_H$	1562,5
3	Среднемесячное число рабочих часов, час	$T_M$	160

Исходные данные для планирования числа рабочих мест приведены в таблице 3. Среди показателей выделим годовой план работ в 400 тыс. часовых норм труда (ЧНТ), который определяется уровнем требуемых производственных возможностей для выполнения коммерческих заказов. Число рабочих мест при одной смене по среднерыночной квалификации

равно 10 и рассчитывается, исходя из дневной нормы труда в 8 ЧНТ и 250 рабочих дней в год.

Средние часовые затраты финансовых средств на создание и функционирование одного рабочего места на расчетный плановый период времени оценены в 10 тыс. тенге и включают амортизационные отчисления на возмещение стоимости оборудования,

затраты на ремонтные работы, восстановление рабочих инструментов и текущего обслуживания. Оценка цены оборудования одного рабочего места при сро-

ке амортизации в 3 года составляет примерно 35 тыс. евро (по курсу: евро за 557,6 тенге).

Таблица 3

Исходные данные для математической модели M2

№	Наименование параметров и переменных	Код	Значение
1	Диапазон регулирования расценки	$\beta$	2
2	Число рабочих мест, планируемых к созданию	$m$	10
3	Амортизация и эксплуатация машины, тенге/час	$h$	10000

Результаты оптимизации плана создания рабочих мест при повышенной ставке заработной платы приведены в таблице 4. Предприятие при создании рабочих мест может рассматривать три варианта их расчетной численности:

- Организация работы в 2 смены при числе оборудования 5 рабочих мест с привлечением работников среднерыночной квалификации и с оплатой труда по среднерыночной ставке (базовый вариант).

- Привлечение более квалифицированных работников для работы в 2 смены с числом примерно 4 рабочих места с оплатой труда по среднерыночным условиям.

- Привлечение более квалифицированных работников для работы в 2 смены с числом примерно 3 рабочих места с оплатой труда по повышенным расценкам.

Таблица 4

Исходные данные и результаты решения задачи (3)

№	Наименование параметров и переменных	Код	Значение
1	Расценка среднерыночная, тенге/НТЧ	$p_H$	1562,5
2	Диапазон регулирования расценки	$\beta$	2
3	Число рабочих мест, планируемых к созданию	$m$	10
4	Амортизация и эксплуатация машины, тенге/час	$h$	10000,00
5	Нижняя граница допустимых затрат, тенге/час	$h_{min}$	6430,70
6	Верхняя граница допустимых затрат, тенге/час	$h_{max}$	33216,41
7	Оптимальная расценка, тенге/час	$p^*$	1865,75

Конечным результатом оптимизации численности рабочих мест является снижение суммарных затрат на выполнение производственного задания. Расчеты целевой функции (3) показывают, что при использовании квалифицированных работников эти затраты сокращаются на 24,6 %. При дополнительном оптимальном стимулировании этих работников затраты сокращаются на 29,5 %. Указанные оценки снижения затрат получены относительно затрат базового варианта выполнения производственного задания в две смены с числом рабочих мест, равном пяти.

### Заключение

Выполнено компьютерное обоснование оптимального выбора количества уникальных рабочих мест применительно к промышленному предприятию. Снижение общих издержек на создание и на эксплуатацию рабочих мест достигается путем оптимизации оплаты труда персонала.

Методами вычислительной математики и компьютерного моделирования проведено исследова-

ние возможных решений при организации уникальных рабочих мест. Показано, что имеются варианты сокращения их расчетной численности путем увеличения рабочих смен, найма квалифицированных работников и использования стимулирующих расценок оплаты труда.

Приведены результаты модельных вычислительных экспериментов оптимальной численности рабочих мест при выполнении заданного объема работы в две смены в трех следующих вариантах: привлечение работников среднерыночной квалификации; привлечение более квалифицированных работников с оплатой труда по среднерыночным условиям; привлечение более квалифицированных работников с оплатой труда по повышенным расценкам.

Дана оценка снижения общих затрат промышленного предприятия при выполнении производственного задания на комплексе уникальных рабочих местах. Результаты имеют теоретическое и прикладное значение при реализации на промышленных предприятиях принципов бережливого производства.

### Библиографический список

1. Зинчик Н.С., Кадырова О.В., Растова Ю.И., Бездудная А.Г. Бережливое производство. М., 2022.
2. Ослин Б.Г. Моделирование. Имитационное моделирование СМО : учебное пособие. Томск, 2010.
3. Бурков В.Н., Коргин Н.А., Новиков Д.А. Введение в теорию управления организационными системами. М., 2017.
4. Ньюстром Дж., Дэвис К. Организационное поведение. Поведение человека на рабочем месте. СПб., 2000.
5. Булатова Г.А., Маничева А.С., Оскорбин Н.М. Методы и математические модели управления персоналом. Барнаул, 2015.
6. Курушбаева Д.Т., Маничева А.С., Оскорбин Н.М. Оптимизация количества используемых однотипных рабочих мест в условиях промышленных предприятий // Труды семинара по геометрии и математическому моделированию. 2019. № 5.
7. Ликсонова Д.И., Медведев А.В. Задача моделирования и управления многомерными безынерционными процессами с зависимыми выходными переменными // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2022. Т. 20. № 2.
8. Nikkan Kogyo Shinbunsha. The Toyota Production System — An Industrial Engineering Study. Tokyo, 1979.
9. 16 Losses in Production | 16 Losses in TPM | 16 Major Losses. <https://www.nikunjboraniya.com/> (last accessed: 12 November 2022).
10. Armstrong S., Mitchell B. The essential HR handbook: A quick and handy resource for any manager or HR professional. N.J.: Career Press, Ink. 2019.