

ОПТИМИЗАЦИЯ НОРМ ЗАТРАТ ТРУДА ДЛЯ РАБОЧИХ В АППАРАТУРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

© 2020 В.А. Щеколдин, И.В. Богатырева, Л.А. Илюхина*

В статье представлены результаты исследования, цель которого заключалась в определении оптимальной численности рабочих, занятых в аппаратурном производстве в условиях многоагрегатного обслуживания, с использованием теории массового обслуживания. Вопросы применения теории массового обслуживания в нормировании труда рабочих в машиностроении нашли отражение в литературе. Как правило, все они рассматриваются как системы с ожиданием обслуживания, т.е. системы “без потерь”. Актуальность и новизна исследования состоит в том, что исходя из требования технологии и статистических характеристик процесса обслуживания обоснован тип системы - система “с потерями” - с использованием соответствующего математического аппарата теории массового обслуживания. Задача сформулирована следующим образом: требуется определить численный состав бригады плавильщиков, обеспечивающей при нормальных условиях работы печей наименьшую вероятность задержки выполнения основных операций по обслуживанию группы печей. При такой постановке задачи в качестве критерия эффективности работы системы обслуживания можно принять минимальную вероятность задержки выполнения очередной операции. Эта задача является сложной, многовариантной, требует применения математических методов. Авторы представили методику использования теории массового обслуживания для разработки оптимальных норм численности на примере процессов плавления сплавов в газовых отражательных печах, а также результаты расчетов показателей функционирования системы обслуживания плавильных печей бригадой рабочих в условиях многоагрегатного обслуживания.

Ключевые слова: теория массового обслуживания, нормирование труда, многоагрегатное обслуживание, норма численности, критерий оптимальности.

Основные положения:

- ♦ выявлены особенности аппаратурных процессов, в частности, плавления алюминиевых сплавов в газовых отражательных печах процесса;
- ♦ представлена операционная карта процесса обслуживания печей;
- ♦ представлена методика использования теории массового обслуживания для разработки оптимальных норм численности на примере процессов плавления сплавов в газовых отражательных печах;
- ♦ рассчитаны показатели функционирования системы обслуживания плавильных печей бригадой рабочих различного состава.

Введение

В современных условиях механизированного и автоматизированного производства усложняются схемы взаимодействия рабочих и оборудования. Это повышает требования к методам установления норм затрат труда и определению численности работников. В данном случае важно установить научно обоснованные нормы обслуживания и численности.

В производстве действуют две схемы взаимодействия рабочих и оборудования: “без

ожидания обслуживания” и “с возможным ожиданием обслуживания”.

При первой схеме взаимодействия расчетная численность работников определяется по трудоемкости работ. При второй схеме взаимодействия возможны неполная занятость рабочих и в то же время простои оборудования в ожидании обслуживания. В промышленности по подобной схеме взаимодействия работают наладчики, слесари, электромонтеры, а также многостаночники.

* Щеколдин Вадим Акиндинович, кандидат экономических наук, профессор. E-mail: vadimak@yandex.ru; Богатырева Ирина Вячеславовна, кандидат экономических наук, доцент. E-mail: scorpiony70@mail.ru; Илюхина Лариса Алексеевна, кандидат экономических наук, доцент. E-mail: laresa@inbox.ru. - Самарский государственный экономический университет.

При второй схеме взаимодействия необходимо установить нормы обслуживания или нормы численности исходя из критерия минимальных суммарных затрат на содержание оборудования и заработную плату работников, т.е. экономически обоснованные (оптимальные).

Для решения подобных многовариантных задач возможно использование математических методов, в частности, теории массового обслуживания (теории очередей). Вопросы применения теории массового обслуживания в нормировании труда рабочих в машиностроении нашли отражение в специальной литературе¹.

Применительно к металлургическому производству, где преобладают аппаратурные процессы, вопросы применения теории массового обслуживания разработаны недостаточно широко.

Использование теории массового обслуживания для разработки оптимальных норм численности авторы статьи рассмотрели на примере процессов плавления алюминиевых сплавов в газовых отражательных печах.

Методы

Проведенное исследование по оптимизации норм численности рабочих в аппаратурном производстве основывается на применении теории массового обслуживания (теории очередей). Теория массового обслуживания, основанная на теории вероятностей и математической статистике, позволяет определить зависимость между основными характеристиками системы обслуживания с целью улучшения управления такими системами. При этом нами исследован конкретный аппаратурный процесс методами математической статистики и, исходя из требований технологии процесса и статистических характеристик процесса, обоснован тип системы - система "с потерями", и следовательно, использован соответствующий математический аппарат системы массового обслуживания.

Результаты

Характерной особенностью аппаратурных процессов и, в частности, плавления алюминиевых сплавов в газовых отражательных печах является значительная длительность (5-10 часов) и слабо выраженная цикличность (2-3 плавки в течение суток).

Как и всякие аппаратурные процессы, плавление алюминиевых сплавов в газовых печах характеризуется значительной (по сравнению с операциями обработки металлов) длительностью и меньшим участием рабочих в выполнении основных технологических операций.

Процесс обслуживания плавильной печи рабочими-плавильщиками включает выполнение следующих операций: загрузку шихты в печь, регулировку теплового режима в течение всего процесса плавления, рафинирование металла в печи, перемешивание металла и взятие проб на экспресс-анализ, снятие шлака, очистку пода и стенок печи от шлака, уборку шлака, доставку вспомогательных материалов. Обслуживание печи производится непрерывно во всех трех сменах и циклически повторяется с каждой плавкой.

Затраты времени на обслуживание печи составляют 20-40% от продолжительности всего процесса плавления. Это создает предпосылки для организации многоагрегатного обслуживания группы печей бригадой рабочих-плавильщиков.

В условиях многоагрегатного обслуживания задачей нормирования процесса плавления является установление наряду с нормой выработки нормы численности (состава бригады) для обслуживания группы печей. Норма численности должна быть такой, чтобы обеспечить своевременное выполнение операций по обслуживанию печей при нормальной загрузке рабочих в течение рабочего дня.

Для аналитического определения норм многоагрегатного обслуживания необходимо знать характер распределения операций в течение смены и затраты времени на обслуживание каждой печи. Все затраты времени по обслуживанию печей авторы разделили на три группы:

а) затраты времени на непосредственное обслуживание данной печи;

б) затраты времени на выполнение различных работ, не связанных непосредственно с обслуживанием определенной печи;

в) затраты времени на переходы при многоагрегатном обслуживании.

Затраты времени первой группы по характеру их распределения во времени цикла плавления разделены на два вида: затраты,

периодичность которых обусловлена технологией процесса плавления, т.е. рабочие должны производить определенные действия в установленное технологией время (рафинирование металла в печи, перемешивание и взятие проб на экспресс-анализ, наведение и снятие шлака и др.), и затраты времени на приемы, периодичность которых не регламентирована: они могут возникать в неопределенные случайные моменты времени (регулировка теплового режима в печи).

Ко второй группе затрат времени относится доставка жидкого переплава и вспомогательных материалов, инструментов и приспособлений.

Приемы по обслуживанию печей различаются по длительности от долей минут (регулировка режима) до часа (загрузка и чистка печи), а также по повторяемости в течение цикла плавления. По условиям производства алюминиевых сплавов в многоагрегатное обслуживание включаются параллельно работающие печи, в которых готовятся разные сплавы с различной трудоемкостью операций обслуживания. Поэтому печи отличаются как длительностью самого процесса (цикла), так и затратами на обслуживание печей внутри каждого цикла.

Таким образом, авторы сделали вывод, что для бригады рабочих, обслуживающих группу печей, начало операций обслуживания и их длительность носит случайный вероятностный характер, и это приводит к совпадению во времени обслуживания на нескольких печах.

В практике нормирования норма численности обычно рассчитывается исходя из условий равенства длительности цикла, т.е. предполагается, что на всех печах готовятся одинаковые сплавы. При этом расчеты для разных сплавов дают различное количество рабочих. Для расчета трудоемкости и расценки принимается максимальная численность. Естественно, что в результате таких расчетов всегда устанавливается завышенная численность рабочих. При этом совсем не учитывается степень надежности обслуживания процесса плавления.

Таким образом, необходимы другие методы определения норм численности, которые учитывали бы вероятностный характер процесса обслуживания.

Для количественного описания вероятностных процессов, к которым относится исследуемый процесс, авторами применена математическая теория массового обслуживания, которая находит применение в промышленности².

Основными показателями теории массового обслуживания являются поток требований и время обслуживания.

Система обслуживания состоит из источников требований и каналов (аппаратов) обслуживания. Поток требований (или входящий поток) - это совокупность заявок на обслуживание, исходящих из источников требований. В нашей системе источником требований являются плавильные печи, а поток требований - это ряд операций обслуживания печей, которые должна выполнить бригада рабочих.

Поток требований, как случайный поток, описывается законом распределения требований, которые поступают на обслуживание за определенный промежуток времени. Каналами обслуживания в нашей системе являются члены обслуживающей бригады. Характеристикой каналов обслуживания выступает длительность обслуживания, описываемая законом распределения с параметром - математическим ожиданием времени обслуживания.

В зависимости от характера поведения требований различают три основных класса систем обслуживания.

Система обслуживания "с потерями" характеризуется тем, что поступившее требование не может ждать начала обслуживания и покидает систему.

Система обслуживания с ожиданием ("без потерь") характеризуется тем, что поступившее требование может ждать неограниченное время и покидает систему полностью обслуженным.

Система смешанного типа характеризуется тем, что поступившее требование может ждать ограниченное время или же имеются ограничения по длине очереди.

Каждый класс систем обслуживания имеет свойственный ему математический аппарат для расчета характеристик обслуживания.

На основе расчета характеристик обслуживания выбирается оптимальный вариант системы обслуживания (в нашем случае норма численности) по критерию эффективнос-

Операционная карта процесса

№ п/п	Наименование операций (в порядке их обслуживания)	Начало операции, ч-мин	Промежуток между операциями, мин	Длительность выполнения операции, мин
1	Доставка флюса	7-30		28
2	Снятие шлака на печи № 6	7-32	2	28
3	Чистка печи № 10	7-35	3	48
4	Подготовка к рафинированию на печи № 7	7-48	13	4
5	Чистка печи № 11	7-50	2	18
6	Перемешивание металла на печи № 15	7-51	1	16
7	Отбор проб на печи № 7	7-65	4	17
8	И так далее Всего 107 операций			
Итого				2521

ти. Критерий эффективности выбирается в зависимости от поставленной задачи исследования и класса системы: минимальная вероятность отказа очередному требованию, минимальный простой источников требований и обслуживающих каналов, минимальное время ожидания обслуживания и др.

В основе решения рассматриваемой задачи лежит исследование системы обслуживания "группа плавильных печей - бригада рабочих-плавильщиков", где входящим потоком требований являются операции по обслуживанию печей обслуживаемыми каналами (аппаратами) - члены бригады, выполняющие эти операции.

Условия технологии плавки исключают возможность задержки во времени выполнения основных операций, т.е. *нашу систему следует отнести к системе "с потерями"*, и следовательно, использовать соответствующий математический аппарат системы массового обслуживания (см. ниже).

Исходя из изложенных требований, задачу можно сформулировать следующим образом: требуется определить численный состав бригады плавильщиков, обеспечивающей при нормальных условиях работы печей, одинаковом уровне квалификации плавильщиков наименьшую вероятность задержки выполнения основных операций по обслуживанию группы печей.

При такой постановке задачи в качестве критерия эффективности работы системы обслуживания можно принять минимальную вероятность задержки выполнения очередной операции.

Построение математической модели системы обслуживания и расчет на ее основе показателей эффективности базируются на экспериментальном статистическом исследовании конкретной системы обслуживания и определении характеристик входящего потока требований и длительности обслуживания.

Для определения характеристик действующей системы обслуживания авторами проведено исследование пооперационной структуры процесса с одновременным измерением продолжительности каждой операции обслуживания.

Пооперационная структура процесса обслуживания печей изучалась методом фотографии производственного процесса. После обработки и упорядочения результатов наблюдений была составлена операционная карта процесса обслуживания (табл. 1).

Наибольшее количество исследований в теории массового обслуживания связано с простейшими потоками требований, для которых аналитические методы решения разработаны достаточно глубоко. Простейшему потоку характерны свойства ординарности, стационарности и отсутствия последствий³.

Такой поток можно описать функцией Пуассона⁴:

$$Pk(t) = \frac{(\lambda \cdot t)^k}{k!} \cdot e^{-\lambda}, \quad (1)$$

где $Pk(t)$ - вероятность поступления за время t точно k требований;

λ - параметр потока - математическое ожидание (среднее количество) требований, поступающих в единицу времени.

Промежуток времени t между появлениями двух последовательных требований в простейшем потоке распределяется по показательному закону:

$$F(t) = \lambda e^{-\lambda t}. \quad (2)$$

Из чисто логических соображений можно предположить, что в рассматриваемой системе обслуживания поток требований простейший. Так, ординарность предполагается тем, что в условиях небольшого количества печей и длительности процесса плавки вероятность поступления одновременно больше одного требования мала. Стационарность также не отвергается, если рассматривать общий поток со всех печей, т.е. поток равномерно распределен на шкале времени. Отсутствие последствия также можно предположить, так как печи работают независимо друг от друга.

Для доказательства подчинения наблюдаемого потока требований закону распределения Пуассона авторы провели статистический анализ. Вся 8-часовая смена была разбита на равные интервалы, достаточно малые, чтобы мог проявиться закон распределения требований на различные операции обслуживания, например, 5-минутные интервалы. Подсчитывается количество требований, поступающий за каждый интервал, средняя арифметическая количества требований, поступающих за один интервал (табл. 2).

Проведенные нами статистические исследования⁵ показали, что исследуемый поток требований относится к типу простейших.

Важным показателем, характеризующим систему массового обслуживания, является продолжительность обслуживания. Характер распределения продолжительности обслуживания проверяется также путем статистического анализа. Анализ пооперационной карты процесса показывает, что большинство операций имеет малую длительность обслуживания и, наоборот, малое количество операций имеет большую длительность обслуживания.

Следовательно, можно предположить, что продолжительность обслуживания имеет показательный закон распределения.

Среднее количество обслуживаний в минуту определяется из данных табл. 1:

$$n = \frac{1}{m} = \frac{107}{2521} = 0,0423 \text{ обслуживаний в}$$

минуту,

где 107 - количество требований со всех печей в смену; 2521 - время обслуживания этих требований.

Среднее время обслуживания одного требования (одной операции) m определяется по данным табл. 1:

$$m = \frac{2521}{107} = 23,5 \text{ мин.}$$

Таблица 2

Расчет статистических характеристик потока требований

Номер интервала	Интервалы	Количество заявок на 1 интервал - X	$(X - \bar{X})$
1	7-30 7-35	3	1,89
2	7-35 7-40	0	-1,11
3	7-40 7-45	0	-1,11
4	7-45 7-50	2	0,89
5	7-50 7-55	2	0,89
.....
Количество интервалов - 96		107	$\bar{X} = \frac{107}{96} = 1,11$

$$\bar{X}t = \frac{460}{106} = 4,34 \text{ мин.}$$

Для 5-минутного интервала:

$$\lambda = \frac{x}{t} = \frac{1,11}{5} = 0,222 \text{ требований в минуту.}$$

Зная λ и m , можно определить коэффициент использования обслуживающей системы j , т.е. бригады рабочих:

$$j = \frac{\lambda}{n} = \frac{0,222}{0,0423} = 5,2.$$

Коэффициент использования j показывает среднее число рабочих в бригаде, которых необходимо иметь, чтобы обслужить все требования, поступающие в единицу времени.

Из этого положения следует, что количество рабочих в обслуживающей системе должно быть больше j , иначе возможно неограниченное возрастание очереди на обслуживание.

Зная тип системы (система "с потерями"), закон распределения потока требований (закон Пуассона), закон распределения длительности обслуживания (показательный закон), значения основных параметров системы ($\lambda = 0,222$ и $m = 23,5$), можно найти все показатели, характеризующие систему обслуживания:

1. Вероятность того, что все обслуживающие аппараты (рабочие) свободны:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^n \frac{1}{k!} (\lambda m)^k}, \quad (3)$$

$$K = 0, 1, 2, \dots, n,$$

где n - число рабочих.

2. Вероятность того, что в обслуживающей системе находится точно K требований, т.е. занято K рабочих:

$$P_k = \frac{P_0}{k!} (\lambda m)^k, \quad (4)$$

$$K = 1, 2, \dots, n.$$

3. Вероятность отказа очередному требованию в обслуживании, т.е. все n рабочих заняты:

$$P_n = \frac{P_0}{n!} (\lambda m)^n. \quad (5)$$

4. Среднее число занятых обслуживающих рабочих:

$$M = \sum_{k=1}^n k P_k. \quad (6)$$

5. Коэффициент загрузки рабочих:

$$K_{заг} = \frac{m}{n}. \quad (7)$$

Сравнивая все возможные варианты численности бригады (нормы численности) по показателям P_n и K , была выбрана оптимальная численность бригады.

Результаты наших расчетов возможных вариантов обслуживания группы печей бригадой различной численности, выполненные с применением информационных технологий, представлены в табл. 3.

По данным табл. 3 можно сделать вывод, что наиболее рациональной является численность бригады 7 человек. В этом случае вероятность отказа в обслуживании очередному требованию равна 0,134 при загрузке рабочих 64,3%, т.е. 13,4 требования из 100 будут ждать обслуживания. Учитывая, что двое рабочих, постоянно занятые на загрузке шихты, по данным фотографии рабочего дня, заняты в течение смены в среднем на 75-80%, они могут обслуживать указанные 13,4% требований, т.е. можно считать, что обслуживающая система на 9 человек практически будет работать безотказно.

Дальнейшее увеличение состава бригады нерационально с точки зрения показателей использования обслуживающей системы. Значение коэффициента загрузки уменьшается до 0,5 при увеличении состава бригады до 10 человек.

Таблица 3

Показатели функционирования системы обслуживания плавильных печей бригадой рабочих различного состава

Состав бригады (n)	Плотность потока требований (λ), мин	Среднее время обслуживания (m), мин	Вероятность того, что все n рабочих свободны (P0)	Критерий эффективности - вероятность отказа в обслуживании (Pn)	Среднее число занятых рабочих (M)	Коэффициент загрузки рабочих (Kзаг)
5	0,222	23,5	0,00900	0,240	0,360	0,720
6	0,222	23,5	0,00700	0,250	4,100	0,690
7	0,222	23,5	0,00654	0,134	4,512	0,643
8	0,222	23,5	0,00602	0,079	4,784	0,599
9	0,222	23,5	0,00576	0,044	4,971	0,552
10	0,222	23,5	0,00563	0,022	5,079	0,508

Вывод об экономической эффективности системы обслуживания плавильных печей можно сделать на основании сравнения показателей трудоемкости выполнения операции при существующей системе обслуживания печей и в условиях системы, определенной с применением теории массового обслуживания:

$$\Delta T = \frac{M1 - M2}{M1} \cdot 100, \quad (8)$$

где ΔT - снижение трудоемкости операции при условии неизменной нормы выработки, %;

$M1$ - норма численности для обслуживания оборудования (состав бригады) при существующей системе обслуживания, чел.;

$M2$ - норма численности (состав бригады) в системе, определенной с применением теории массового обслуживания, чел.

В исследуемой конкретной системе обслуживания печей $M1 = 11$ чел. В проектируемой системе $M2 = 9$ чел. $\Delta T = (11-9)/9 \cdot 100 = 18\%$.

Расчет произведен для определенных значений характеристик входящего потока и длительности обслуживания, которые свойственны конкретным условиям одного из заводов.

По приведенным формулам для данного типа системы (система "с потерями", простейший поток требований и показательный закон распределения времени обслуживания) можно рассчитать показатели функционирования системы при различных значениях λ , m , $j = \lambda \cdot m$ и вариантах организации труда (количество рабочих - n). Такая задача требует выполнения большого количества вычислений, которые эффективно выполнять с применением компьютерных технологий.

Обсуждение

В последнее время теория массового обслуживания, занимающаяся анализом многократно повторяющихся однородных процессов в системах обслуживания, производства и управления, получила широкое освещение в отечественной и зарубежной литературе, так как позволяет решить ряд практических задач. Во-первых, провести оценку среднего

времени ожидания при заданном потоке заявок на обслуживание⁶; во-вторых, выявить зависимость показателей эффективности системы от характеристик входящего потока заявок (требований), с целью последующей ее оптимизации⁷; в-третьих, изучить степень удовлетворения массового спроса на выполнение какого-либо вида услуг с учетом случайного характера спроса и обслуживания; в-четвертых, оптимизировать нормы затрат труда для обслуживающего персонала⁸. Установление усредненных нормативов затрат труда на работах по обслуживанию во многих случаях не дают достаточного эффекта из-за разницы условий, в которых осуществляются данные работы. Поэтому оптимальная численность обслуживающего персонала может быть рассчитана с помощью теории массового обслуживания или теории очередей.

Многие отечественные и зарубежные исследователи адаптировали инструментарий теории массового обслуживания для изучения проблем повышения эффективности процессов обслуживания в промышленности⁹, медицине¹⁰, банковском секторе¹¹, call-центрах¹² и других сферах.

Итак, широкое применение элементов теории массового обслуживания в практике предприятий и организаций различных сфер деятельности связано, в первую очередь, с решением важных задач оптимизации норм затрат труда для обслуживающего персонала и повышения эффективности функционирования системы обслуживания.

Заключение

Применение теории массового обслуживания для разработки норм численности рабочих в условиях многоагрегатного обслуживания позволяет научно обоснованно находить оптимальную численность рабочих, которая обеспечивает надежную работу оборудования и рациональное использование рабочей силы.

Математические методы теории массового обслуживания могут найти применение при расчете показателей систем обслуживания во всех случаях, когда имеет место случайный характер обслуживания, в частности, при решении следующих задач по совершенствованию организации и нормированию труда:

а) для определения численности вспомогательных рабочих: наладчиков, контролеров, дежурных слесарей и электромонтеров;

б) для разработки норм многостаночного обслуживания.

Это позволяет устанавливать научно обоснованные нормы затрат труда.

¹ Иванов А.А. Моделирование объектов автоматизированного производства на основе теории массового обслуживания // Труды Нижегородского технического университета им. Р.Е. Алексеева. 2013. № 1 (98). С. 88-93.

² Алдохин И.П. Теория массового обслуживания в промышленности. Москва : Экономика, 1970.

³ Розенберг В.Я., Прохоров Л.И. Что такое теория массового обслуживания? Москва : Сов. радио, 1965.

⁴ Кофман А. Методы и модели исследования операций. Москва : Мир, 1966.

⁵ Щеколдин В.А. Совершенствование нормирования труда на промышленных предприятиях: проблемы и пути решения (на примере предприятий по обработке цветных металлов) : монография. Самара : Изд-во Самар. гос. экон. акад., 1995. 115 с.

⁶ Load effect on service times / M. Delasay, A. Ingolfsson, B. Kolfal, K. Schultz // European Journal of Operational Research. 2019. Vol. 279 (3). P. 673-686. DOI: 10.1016/j.ejor.2018.12.028.

⁷ Irani S.A., Chrissis J.W. Applications of queueing structures in manufacturing systems // Computers & Industrial Engineering. 1986. Vol. 11 (1-4). P. 215-219. DOI: 10.1016/0360-8352(86)90081-1.

⁸ Носов М.А., Сабина А.Л., Анцева Н.В. Оптимизация количественного состава ремонтных бригад при управлении качеством технического обслуживания оборудования промышленных предприятий // Известия ТулГУ. Технические науки. 2016. Вып. 11, ч. 2. С. 202-208.

⁹ См.: Fazlollahtabar H., Gholizadeh H. Application of queueing theory in quality control of multi-stage flexible flow shop // Yugoslav Journal of Operations Research. 2020. Vol. 30 (1). P. 101-108. DOI: 10.2298/YJOR181115023F; Додонов В.В. Использование элементов теории массового обслуживания для анализа производительности и надежности автоматизированных станочных систем // Известия высших учебных заведений. 2011. № 12. С. 70-76.

¹⁰ См.: Wen J., Geng N., Xie X. Real-time scheduling of semi-urgent patients under waiting time targets // International Journal of Production Research. 2020. Vol. 58 (4). P. 1127-1143. DOI: 10.1080 / 00207543.2019.1612965; Газизова Л.Р., Галимулина Ф.Ф. Система массового обслуживания в частной медицине // Управление устойчивым развитием. 2018. № 6 (19). С. 5-10.

¹¹ Overview Impact of Application of Queueing Theory Model on Productivity Performance in A Banking Sector / S.A. Afolalu, K.O. Babaremu, S.O. Ongbali [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1378 (3). P. 32-33. DOI: 10.1088/1742-6596/1378/3/0320330.

¹² Li C., Sun C., Zhang J. The Staffing Optimization Problem for the M-Design Multi-Skill Call Center Based on Queueing Model // Lecture Notes in Electrical Engineering. 2020. Vol. 582. P. 585-595. DOI: 10.1007/978-981-15-0474-7_55.

Поступила в редакцию 23.03.2020 г.

OPTIMIZATION OF LABOR COST STANDARDS FOR WORKERS IN HARDWARE PRODUCTION

© 2020 V.A. Shchekoldin, I.V. Bogatyreva, L.A. Ilyukhina*

The article presents the results of a study aimed at determining the optimal number of workers engaged in hardware production in multi-unit service conditions, using the theory of queuing. Questions of applying the theory of queuing in the rationing of workers in mechanical engineering are reflected in the literature. As a rule, all of them are considered as systems with waiting for service, i.e. "lossless" systems. The relevance and novelty of the research are in the fact that based on the requirements of technology and statistical characteristics of the service process, the type of system - the system with losses - is justified using the appropriate mathematical apparatus of the queuing theory. The task is formulated as follows: it is necessary to determine the numerical composition of the team of remelters, which provides under normal conditions of operation of the furnaces the least probability of delay in performing the main operations for servicing the group of furnaces. In this case, the minimum probability of delay in performing the next operation can be taken as a criterion for the efficiency of the service system. This task is complex, multi-variant, and requires the use of mathematical methods. The authors presented a methodology for using the queuing theory to develop optimal population norms based on the example of alloy melting processes in gas reflecting furnaces, and the results of calculations of indicators for the functioning of the service system for melting furnaces by a team of workers in multi-unit service conditions.

Keywords: queueing theory, rationing of labor, multi-component services, rate of population, the criterion of optimality.

Highlights:

- ◆ features of hardware processes, in particular, melting of aluminum alloys in gas reflectant furnaces of the process are revealed;
- ◆ the operating map of the furnace maintenance process is presented;
- ◆ the method of using the queuing theory to develop optimal population norms is presented using the example of melting processes of alloys in gas reflecting furnaces;
- ◆ the indicators of the functioning of the service system for melting furnaces by a team of workers of various composition are calculated.

* Vadim A. Shchekoldin, Candidate of Economics, Professor. E-mail: vadimak@yandex.ru; Irina V. Bogatyreva, Candidate of Economics, Associate Professor. E-mail: scorpion70@mail.ru; Larisa A. Ilyukhina, Candidate of Economics, Associate Professor. E-mail: laresa@inbox.ru. - Samara State University of Economics.

Received for publication on 23.03.2020