

УДК 338.47

Применение методов Design of Experiments (DOE) для определения значений факторов, влияющих на производительность деятельности почтового отделения*

Д-р экон. наук **Сергеева И.Г.** igsergeeva@gmail.com

Поцулин А.Д. anton.potsulin@yandex.ru

Университет ИТМО

197101, Россия, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49

Харламова Ю.О. kharlamova-j@list.ru

Дальневосточный федеральный университет

690091, Россия, Приморский край, г. Владивосток, ул. Суханова, 8

В настоящее время соответствующее техническое обеспечение, без которого сложно себе представить сортировку писем, посылок и иных отправок является основным фактором, определяющим производительность работы почтового отделения, а также и ее эффективности. Следует отметить, что к транспортному оборудованию в автоматизированных сортировочных центрах предъявляют особые требования. Целью исследования является проведение оценки факторов, влияющих на производительность деятельности почтового отделения с использованием метода Design of Experiments (DOE). Применение данного метода является одним из базовых когнитивных аппаратов при разработке и внедрении новой структуры и методов принятия управленческих решений на предприятиях. Объектом исследования является процесс использования ленточного конвейера в отделениях связи. В работе применяются следующие методы математического анализа: матрица планирования, уравнение регрессии. Проведенный для определения показателей факторов анализ нормативно-правовых документов, в частности государственных стандартов, показал, что при использовании представленных методов следует учитывать ряд факторов, которые оказывают непосредственное влияние на результаты производства. В результате проведенного исследования были выделены наиболее значимые факторы, влияющие на производительность почтового отделения. В рамках проведенного эксперимента построена математическая модель, учитывающая все возможные взаимодействия между этими факторами. В результате проверки модели на адекватность и ее интерпретации определены оптимальные значения для исследуемых факторов, влияющих на работу ленточного конвейера.

Ключевые слова: почтовая связь, ленточный конвейер, метод Design of Experiments (DOE), факторы оптимизации, матрица планирования.

DOI: 10.17586/2310-1172-2020-13-2-160-169

**Работа выполнена в рамках проекта НИР № 618279 «Методы и инструменты инновационной и предпринимательской деятельности в условиях цифровой экономики»*

Application of Design of Experiments (DOE) methods to determine the values of factors affecting the performance of the post office

D.Sc. **Sergeeva I.G.** igsergeeva@gmail.com

Potsulin A.D. anton.potsulin@yandex.ru

ITMO University

197101, Russia, St. Petersburg, Kronverksky pr., 49

Kharlamova J.O. kharlamova-j@list.ru

Far Eastern Federal University

690091, Russia, Primorsky Krai, Vladivostok, Suhanova str., 8

Currently, appropriate technical support, without which it is difficult to imagine the sorting of letters, parcels, and other items, is the main factor determining the productivity of the post office, as well as its effectiveness. It should be noted that transport equipment in automated sorting centers has special requirements. The goal of the study is to assess the factors affecting the performance of the post office using the Design of Experiments (DOE) method. The application of this method is one of the basic cognitive devices in the development and implementation of a new structure and methods

for making managerial decisions in enterprises. The object of research is the process of using a conveyor belt in communication departments. The following methods of mathematical analysis are used in the work: planning matrix, regression equation. The analysis of regulatory documents, in particular, state standards, carried out to determine the indicators of factors, showed that when using the presented methods, a number of factors should be taken into account that directly affect the production results. As a result of the study, the most significant factors affecting the performance of the post office were identified. In the framework of the experiment, a mathematical model is constructed that considers all possible interactions between these factors. As a result of checking the model for adequacy and its interpretation, optimal values are determined for the studied factors that affect the operation of the conveyor belt. This study was carried out as part of the research project No. 618279 «Methods and tools of innovative and entrepreneurial activity in the digital economy».

Keywords: postal service, conveyor belt, Design of Experiments (DOE) method, optimization factors, planning matrix.

Введение

Почтовая связь играет важнейшую роль в социальном и экономическом развитии Российской Федерации. С учетом географических, экономических, демографических и культурных особенностей страны почтовая связь является одним из основных средств коммуникации, которое обеспечивает доступ населения к источникам информации, а также способствует развитию социальных связей и коммуникаций между государством и его гражданами.

Данный вид связи предоставляет потребителям широкий спектр услуг, имеет достаточно разветвленную сеть предприятий и пунктов связи, соединенных между собой почтовыми маршрутами, то есть их размещение увязывается с административно-территориальным делением страны.

Эффективность деятельности почтового отделения зависит не только от персонала, условий работы, но и от соответствующего технического обеспечения, без которого сложно представить сортировку писем, посылок и иных отправок.

Проблема производительности работы почтовых отделений в Российской Федерации является актуальной в настоящее время. Каждый день через автоматизированный сортировочный центр (АСЦ) отделения связи проходит около 3 миллионов почтовых отправлений. Сроки доставки писем и посылок значительно сокращаются благодаря автоматизации и логистике. Использование специального оборудования в сортировочном центре сводит ручной труд к минимуму. Сокращается также время сортировки писем. Сортировочная машина способна обработать 42 тысячи писем в час и заменить труд 120 опытных сортировщиков. Для сравнения, один сортировщик обрабатывает вручную всего 3 тысячи писем за 8-часовой рабочий день [1].

Крупные АСЦ для Центрального и Северо-Западного регионов уже построены в Московской области и в городе Санкт-Петербурге. Первый был построен в 2009 году, а второй – осенью 2011 года. Но для более эффективной работы отделений связи необходимо построить как минимум двадцать крупных автоматизированных сортировочных центра [2,3].

«Почтой России» сегодня активно используется транспортерная лента (ленточный конвейер). Ленточный конвейер является наиболее распространенным типом транспортирующих машин, который служит для перемещения грузов. Одним из факторов активной эксплуатации непрерывного транспортера является то, что это устройство достаточно простое и его монтаж не требует больших затрат.

Применение новых подходов и решений приводит к значительному снижению эксплуатационных затрат на транспортные системы при одновременном обеспечении их высокой надежности и срока службы. Ленточный конвейер используются практически во всех отраслях промышленности, где перемещается большое количество товаров [4, 5].

При проектировании ленточного конвейера учитываются следующие параметры:

- 1) Размер, емкость и скорость;
- 2) Диаметр ролика;
- 3) Сила и напряжение пояса;
- 4) Диаметр шкива;
- 5) Угол наклона ленты;
- 6) Тип приводного устройства [6]

Для осуществления бесперебойной работы транспортерной ленты необходимо учитывать ряд факторов, которые в последующем влияют на производительность почтового отделения (число почтовых отправок в час). Многие исследователи применяют различные подходы для оценки влияния данных факторов на количество почтовых отправок в час [7].

В данной работе произведена оценка факторов, влияющих на производительность работы почтового отделения с использованием метода Design of Experiments (DOE). Для проведения оценки выбраны следующие факторы, такие как угол наклона ленты наклонного транспортера α ($^{\circ}$), скорость движения ленты v (м/с), материал

ленты (поверхностная плотность) ρ (г/м³); положение регулировочного валика (угол наклона рядовых боковых роликов) β (°).

Design of Experiments (DOE) является одним из эффективных методов проектирование любой задачи, направленной на описание и объяснение вариации информации в условиях, которые гипотетически отражают вариацию. Применение данного метода является одним из базовых когнитивных аппаратов при разработке и внедрении новой структуры и методов принятия управленческих решений на предприятиях. Данный метод находит своё отражение в различных областях промышленности [4, 8-10].

Анализ стандартов, касающихся согласования требований к управлению качеством

В Российской Федерации для транспортной ленты определены нормативные документы, от соблюдения требования которых, зависит эффективность работы ленточного конвейера и самого сортировочного центра.

В настоящее время контроль качества ленточных конвейеров осуществляется по ГОСТ 25722-83 (СТ СЭВ 1331-78), ГОСТ 22644-77 (СТ СЭВ 1333-78), ГОСТ 22645-77, ГОСТ 22646-77 (СТ СЭВ 1334-78), ГОСТ 20-2018, ГОСТ 22510-77, ГОСТ 12.2.022-80, ГОСТ 9.024-74 (СТ СЭВ 2049-79, СТ СЭВ 2048-79), ГОСТ 263-75 (СТ СЭВ 1198-78), ГОСТ 270-75, ГОСТ 408-78, ГОСТ 6433.2-71 (СТ СЭВ 2411-80), ГОСТ 6768-75 (СТ СЭВ 6020-87), ГОСТ 23509-79 (ИСО 4649-85), ГОСТ ISO 252-2014, ГОСТ ISO 282-2014, ГОСТ ISO 283-2014, ГОСТ ISO 703-2014.

Процесс работы ленточного конвейера регулируются следующими стандартами:

- наименование частей;
- основные параметры и размеры;
- типы и основные размеры;
- технические условия;
- общие требования безопасности.

На рис. 1 представлена структура стандартов, устанавливающих требования к качеству ленточных конвейеров [11].

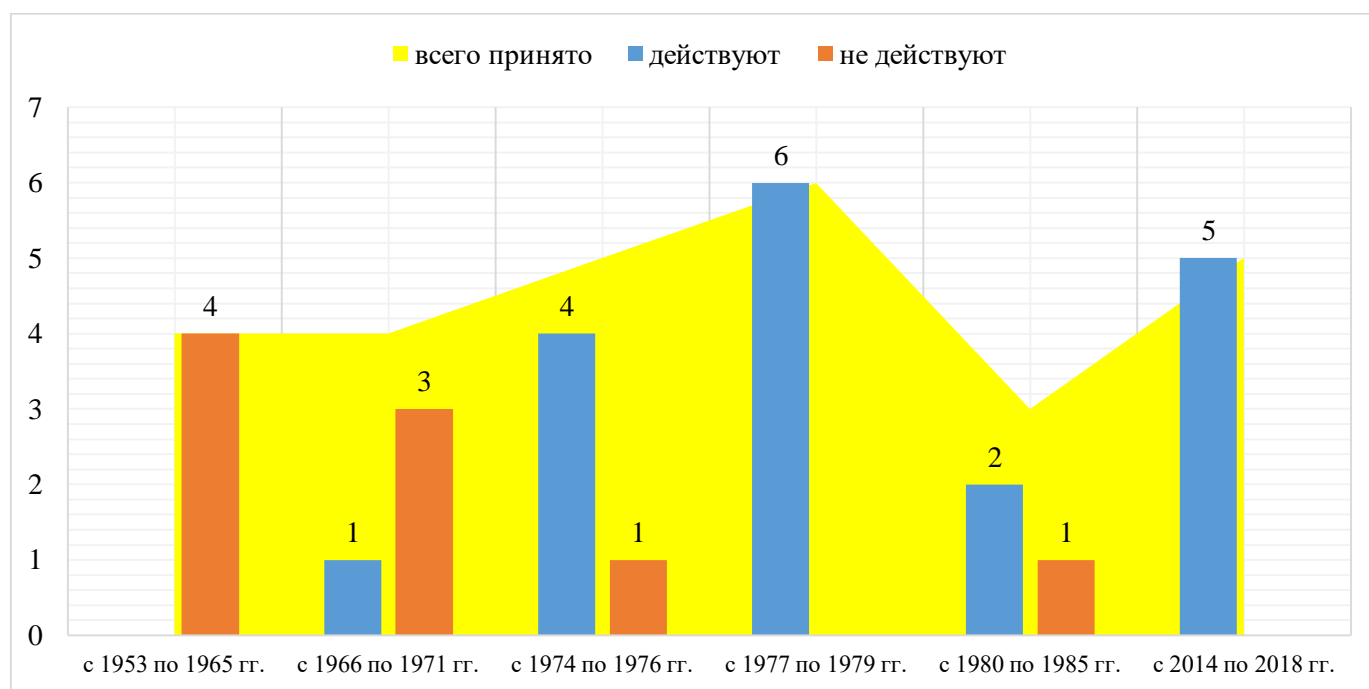


Рис. 1. Структура стандартов ленточных конвейеров

Согласно представленной диаграмме, в настоящее время на территории Российской Федерации действует 18 стандартов, регламентирующих требования к качеству ленточных конвейеров. Из диаграммы также видно, что более 81% действующих стандартов приняты в период с 1953 по 1985 гг., следовательно, часть методов контроля качества устарела и не соответствует требованиям современной экономики.

Действующие нормативные документы, включают в себя следующие методы контроля качества:

- методы испытаний на стойкость к термическому старению ГОСТ 9.024-74 (СТ СЭВ 2049-79, СТ СЭВ 2048-79);
- метод определения твердости по Шору А ГОСТ 263-75 (СТ СЭВ 1198-78);
- метод определения упругопрочностных свойств при растяжении ГОСТ 270-75;

- методы определения морозостойкости при растяжении ГОСТ 408-78;
 - методы определения электрического сопротивления при постоянном напряжении ГОСТ 6433.2-71 (СТ СЭВ 2411-80);
 - метод определения прочности связи между слоями при расслоении ГОСТ 6768-75 (СТ СЭВ 6020-87);
 - метод определения сопротивления истиранию при скольжении по возобновляемой поверхности ГОСТ 23509-79 (ИСО 4649-85);
 - определение прочности связи между элементами конструкции ГОСТ ISO 252-2014;
 - метод отбора образцов ГОСТ ISO 282-2014;
 - метод определения прочности при растяжении по всей толщине, удлинения при разрыве и удлинения при стандартной нагрузке ГОСТ ISO 283-2014;
 - определение гибкости в поперечном направлении (способности к лоткообразованию) ГОСТ ISO 703-2014.
- При использовании данных методов следует учитывать ряд факторов, которые оказывают непосредственное влияние на результаты производства.

Анализ нормативных документов проведен с целью определения показателей факторов [12, 13].

Результаты исследования

При анализе и оценке процессов сортировочного центра большое значение имеет выбор наиболее значимых факторов, за которые принимают контролируемую переменную объекта, а именно величину. Для любой пары факторов должно выполняться условие совместимости, также факторы должны непосредственно воздействовать на параметр оптимизации и точность установления граничных значений факторов должна быть максимально высокой [14].

При решении поставленной задачи были реализованы эксперименты, обладающие низкой информативностью, которые позволяют значительно сократить количество опытов. В данном подходе наибольшее внимания уделяется эффектам, которые оказывают наибольшее влияние на изменение параметра оптимизации [15].

Для построения математической модели, учитывая все взаимодействия факторов, и решения поставленной задачи необходимо выполнить этапы, представленные на рис. 2.



Рис. 2. Этапы построения математической модели

В ходе исследования были проведены опыты с целью определения оптимальных значений факторов, влияющих на производительность работы почтового отделения. выбраны следующие факторы, такие как угол наклона ленты наклонного транспортера α ($^{\circ}$), скорость движения ленты v (м/с), материал ленты (поверхностная плотность) ρ (г/м³); положение регулировочного валика (угол наклона рядовых боковых роликов) β ($^{\circ}$). Результаты опытов указаны в табл. 1.

Таблица 1

Результаты опытов

№ опыта	α (°)	v (м/с)	ρ (г/м ³)	β (°)
1	16	8,8	584	56
2	12	9,3	571	37
3	17	6,22	625	45
4	11	9,9	650	48
5	14	2,79	578	11
6	11	1,32	614	16
7	18	3,37	601	25
8	11	5,38	559	11

В эксперименте участвовали четыре фактора, которые влияют на производительность ленточного конвейера с регулируемым углом наклона и резиноканевой конвейерной лентой: α – 10-18 °, v – 0,250-10 м/с, ρ – 550-610 г/м², β – 10-60 ° [12, 13].

С целью обеспечения возможности для сравнения, агрегации представленных данных (табл. 1) и проведения эксперимента было произведено нормирование. В табл. 2 представлены нормированные показатели по результатам опытов.

Таблица 2

Результаты опытов, после проведения процедуры нормирования

№ опыта	A	B	C	D
1	0,750	0,877	0,567	0,920
2	0,250	0,928	0,350	0,540
3	0,875	0,612	1,250	0,700
4	0,125	0,990	1,667	0,760
5	0,500	0,261	0,467	0,020
6	0,125	0,110	1,067	0,120
7	0,950	0,320	0,850	0,300
8	0,125	0,526	0,150	0,020

Для кодирования (стандартизации) масштабов был выбран интервал варьирования факторов, а именно для каждого уровня отобрали два (или несколько) уровня, на которых он варьировался в эксперименте. Факторы A1, A2, A3, ..., Ak варьируются на нижнем и верхнем уровнях.

Поскольку факторы процесса неоднородны и имеют различные единицы измерения, а числа, которые выражают величины факторов, имеют различные порядки, их привели к единой системе счисления путем перехода от действительных значений факторов к кодированным.

Также были найдены основные уровни для каждого фактора по формуле (1):

$$A_{i \text{ осн}} = \frac{A_{i \text{ max}} + A_{i \text{ min}}}{2}, \tag{1}$$

где $A_{i \text{ осн}}$ – основной уровень (определенный для каждого фактора); $A_{i \text{ max}}$ – верхний уровень (определенный для каждого фактора); $A_{i \text{ min}}$ – нижний уровень (определенный для каждого фактора); 2 – число уровней; i – номер фактора.

Далее были вычислены интервалы варьирования для каждого фактора по формуле (2):

$$\Delta A_i = \frac{A_{i \text{ max}} - A_{i \text{ min}}}{2}, \tag{2}$$

где ΔA_i – интервал варьирования (определенный для каждого фактора).

Кодированное значение фактора, найдено в соответствии с формулой (3):

$$\tilde{A}_i = \frac{A_i - A_{i\text{осн}}}{\Delta A_i}, \tag{3}$$

где \tilde{A}_i – кодированное значение фактора.

Планирование эксперимента обозначено 2^{4-1} , где $p=1$ – число линейных эффектов. Один из незначимых эффектов взаимодействия АВ, АС, ВС, АВС был заменен фактором D чтобы построить матрицу планирования 2^3 . В результате замены определено генерирующее соотношение: $D = \pm AB$.

После этого был найден определяющий контраст, которым для плана 2^{4-1} является соотношение: $+1 = ABD$. Обозначение нашей полуреплики в таком случае имеет вид -2_{IV}^{4-1} с разрешающей способностью IV.

Затем определялись совместные оценки факторов, т. е. последовательно перемножались графы независимых переменных А, В, С на определяющий контраст. Далее перемножались определяющий контраст на оставшиеся взаимодействия.

В данной задаче ни один из главных эффектов не смешан с другим главным эффектом или парным взаимодействием, все парные взаимодействия смешаны друг с другом. Далее путём перемножения определяющих контрастов на оставшиеся взаимодействия, построено уравнение регрессии (неполная квадратичная модель): $Y = I + b_1 \cdot A_1 + b_2 \cdot A_2 + \dots + b_i \cdot A_i$.

Далее была построена и заполнена методом чередования знаков матрица планирования, которая представлена на рис. 3.

Журнал планирования эксперимента эффективности работы почтового отделения										Обозначение, наименование сварочной детали				Обозначение документа		№ опер							
Контролируемые переменные ПФЭ										Априорные сведения				Оценка коэффициентов уравнения									
Верхний уровень										РДМЭ 109-77 ГОСТ 22644-77 (СТ СЭВ 1333-78) «Конвейеры ленточные. Основные параметры и размеры (с Изменениями № 1, 2)»				$b_A \rightarrow \beta_A + \beta_{BD}$		$b_{AC} \rightarrow \beta_{AC} + \beta_{BDC}$							
Нижний уровень														$b_B \rightarrow \beta_B + \beta_{AD}$		$b_{BC} \rightarrow \beta_{BC} + \beta_{ACD}$							
Основной уровень														$b_C \rightarrow \beta_C + \beta_{ABD}$		$b_{CD} \rightarrow \beta_{CD} + \beta_{ABC}$							
Интервал варьирования										$b_D \rightarrow \beta_D + \beta_{AB}$													
Матрица планирования факторного эксперимента 2^{4-1} в кодированных значениях переменных										Результаты эксперимента и дисперсии отклонений параметра оптимизации от среднего значения				Результаты расчета для проверки адекватности модели		Особые указания							
№ опыта	Порядок реализации опытов				Контролируемые режимы, характеристик факторы								Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	ȳ	S ²	ȳ	ȳ - ȳ ²			
	m ₁	m ₂	m ₃	m ₄	I	A	B	C	D=AB	AC	BC	CD											
1	4	3	2	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,750	0,877	0,567	0,920	0,778	0,025	0,882	0,0108	Масштаб 11
a	2	8	4	5	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	0,250	0,928	0,350	0,540	0,517	0,090	0,804	0,0822	
b	8	7	1	4	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	0,875	0,612	1,250	0,700	0,859	0,080	1,146	0,0822	
c	1	6	7	3	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	0,125	0,990	1,667	0,760	0,885	0,405	0,989	0,0108	
d	6	2	5	1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	0,500	0,261	0,467	0,020	0,312	0,049	0,208	0,0108	
ab	5	4	6	2	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	0,125	0,110	1,067	0,120	0,355	0,225	0,069	0,0822	
ac	7	5	3	6	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	0,950	0,320	0,850	0,300	0,605	0,118	0,318	0,0822	
ad	3	1	8	7	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	0,125	0,526	0,150	0,020	0,205	0,049	0,101	0,0108	
коэффициент b										Проверка однородности дисперсии				Проверка адекватности модели		Резервная графа							
										ΣS ²		Σ ȳ - ȳ ²											
Проверка значимости коэффициентов										S ² _{max}		S ² _{ад}											
S ² (Y)	0,13	S ² (b)		0,0041	0,0041	0,0041	0,0041	0,0041	0,0041	0,0041	0,0041	0,0041	0,0041	0,0041	G	0,3894	F	1,6347					
q, %	5	S(b)		0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	q, %	5								
V _{нп}	24	f ₁		8,6587	1,9599	1,162	3,0644	0,3057	0,2369	0,600	3,0644			V _{нп}	3	V _{ад}		7					
f _{сп}	2,064	f ₁ - f _{сп}		6,7948	-0,904	-0,9023	1,0005	-1,7582	-1,8270	-1,4637	1,0005			V _{2п}	8	V _{2ад}		24					
										G _{сп}		0,4377		F _{сп}		2,43							
										G - G _{сп}		-0,048		F - F _{сп}		-0,7953							
Выбод										Выбод		Дисперсии однородны		Выбод		Модель адекватна							
Уравнение регрессии (неполная квадратичная модель)										Уравнение регрессии (линейная модель)													
Y = I + b ₁ A + b ₂ B + b ₃ C + b ₄ D + b ₅ AC + b ₆ BC + b ₇ CD										ȳ = 0,5647 - 0,1953C + 0,1953CD													

Рис. 3. Матрица планирования эксперимента

Данная матрица планирования построена на основе данных о опытах, которые представлены в табл. 1. После построения плана матрицы планирования были проверены ее свойства: симметричность, нормировка, ортогональность и ротатабельность. Формулы проверки свойств представлены на рис. 4 [15].

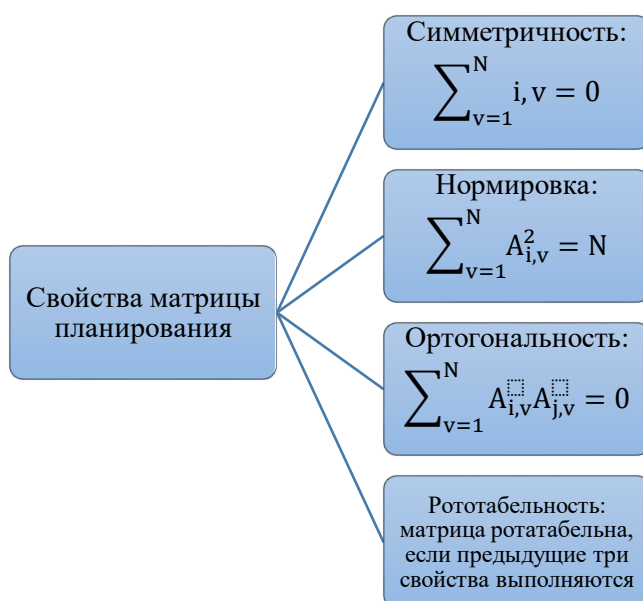


Рис. 4. Формулы проверки свойств матрицы планирования

В результате проведенных вычислений можно сделать вывод, что план матрицы планирования отвечает всем трем свойствам, а, следовательно, соответствует свойству ротатабельности, т.е. математическая модель, полученная в результате эксперимента, способна предсказать значение показателя параметра оптимизации с одинаковой точностью в любых направлениях на равных расстояниях от центра эксперимента или плана матрицы.

Перед реализацией плана эксперимента была проведена рандомизация опытов на базе Microsoft Excel посредством использования «Пакета анализа».

При проведении дробно факторного эксперимента найдено среднее значение показателя параметра оптимизации, которое определяется путём реализации параллельных наблюдений по формуле (4):

$$\bar{Y}_v = \frac{\sum_{j=1}^m Y_{v,j}}{m}, \tag{4}$$

где \bar{Y}_v – среднее арифметическое по m опытам в точке с номером v ; v – строчка плана матрицы планирования или номер опыта; $Y_{v,j}$ – действительное значение показателя параметра оптимизации; m – число параллельных наблюдений в каждой точке.

Также была проведена обработка результатов эксперимента, которая представлена на рис. 5.

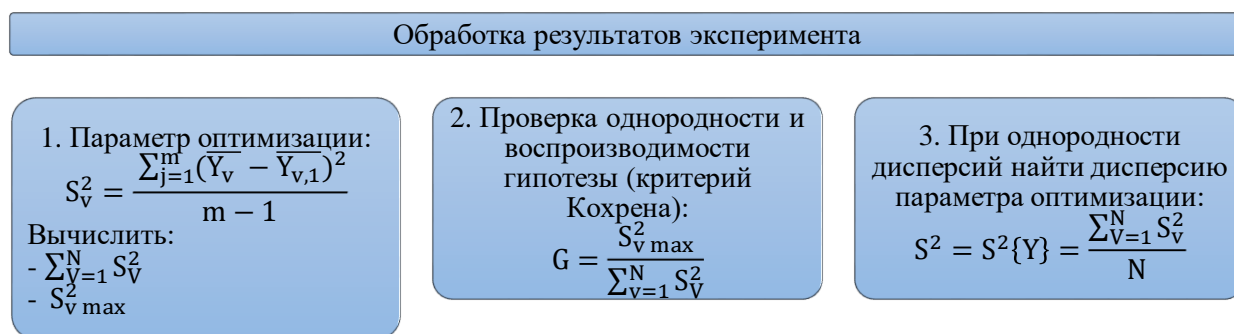


Рис. 5. Обработка результатов

Гипотеза о воспроизводимости заключается в определении того факта, при котором выборочные дисперсии для каждой точки плана матрицы однородны.

Для проверки гипотезы был задан уровень значимости q и найдено число степеней свободы по формулам (5) и (6):

$$V_{1,в \max} = m - 1, \tag{5}$$

где m – число параллельных наблюдений в каждой точке.

$$V_{2,в} = N \tag{6}$$

Определено критическое значение критерия Кохрена $G_{кр}$ при соответствующих степенях свободы. Так было выявлено, что гипотеза об однородности дисперсии и воспроизводимости результатов принимается.

Далее была построена математическая модель процесса, для которой определён коэффициент регрессии умножением данных \bar{Y}_v на данные $A_{i,v}$ в кодовых обозначениях с последующим делением полученного произведения на общее число точек в плане матрицы по формуле.

Найдено среднеквадратическое отклонение дисперсии ошибки определения коэффициента регрессии b_i по формуле (7):

$$S^2\{b_i\} = \frac{S^2\{Y\}}{N \cdot m}, \tag{7}$$

где $S^2\{b_i\}$ – дисперсия ошибки определения коэффициента.

По t – критерию Стьюдента определяют значимость коэффициентов регрессии. Значение данного коэффициента влияет на интерпретацию модели. Критерий Стьюдента по формуле (8):

$$t_i = \frac{|b_i|}{S\{b_i\}}, \tag{8}$$

где t_i – критерий Стьюдента; $|b_i|$ – рассчитанные коэффициенты регрессии.

Далее проведена проверка гипотезы о значимости коэффициента b_i . Задан уровень значимости q и определено число степеней свободы по формуле (9):

$$V_{3н} = N \cdot (m - 1), \tag{9}$$

где $V_{3н}$ – число степеней свободы.

По таблице Стьюдента определено критическое значение, а затем было проведено сравнение всех вычисленных значений t_i с критическим значением $t_{кр}$ для определения значимости или незначимости.

Далее проверяется адекватность модели, вычисления для которой представлены на рис. 6. Проверка адекватности модели проведена с целью определения соответствия модели экспериментальным данным. Для этого используется F-критерий (Фишера), который представляет собой отношение дисперсии адекватности или остаточной дисперсии к дисперсии воспроизводимости.

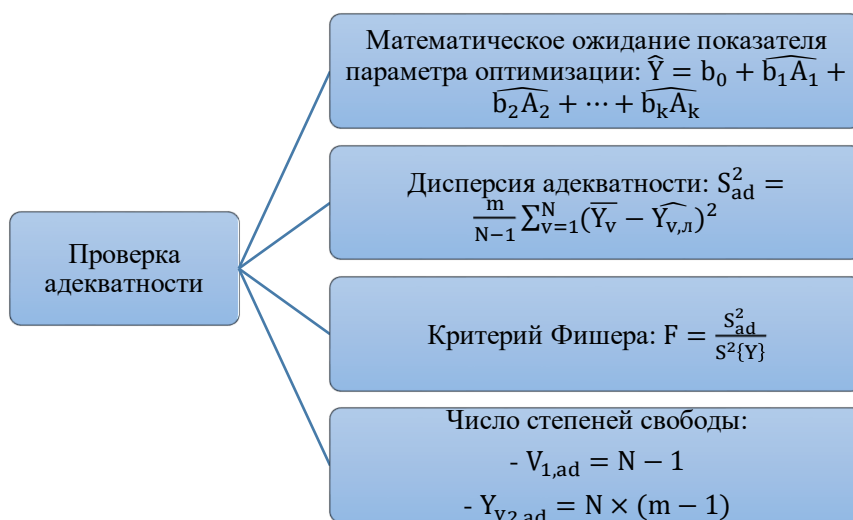


Рис. 6. Проверка адекватности модели

Так как вычисленное значение критерия F меньше значения $F_{кр}$, определенного по таблице Фишера, гипотеза адекватности модели была принята.

На заключительном этапе проводится интерпретация математической модели.

$$y = 0,565 + 0,195 \cdot C + 0,195 \cdot C \cdot D \quad (10)$$

По уравнению (10) фактор C (поверхностная плотность) имеет наибольший коэффициент по абсолютной шкале. Взаимодействие факторов C (поверхностной плотности) и D (угла наклона рядовых боковых роликов) обладает равным по силе влияния на отклик с фактором C коэффициентом. Так как коэффициенты фактора C и при взаимодействии факторов C и D положительны, то с увеличением значений по данным факторам увеличивается и отклик (производительность). Это следует учитывать при контроле процесса.

Далее посредством преобразования уравнения (10), получим его окончательный вид в натуральных переменных:

$$y = 2,067 - 0,0031 \cdot \rho - 0,15 \cdot \beta + 0,0003 \cdot \rho \cdot \beta$$

Заключение

В ходе проведенного эксперимента построены планы с использованием DOE с учетом взаимодействия таких факторов, как угол наклона ленты наклонного транспортера, скорость движения ленты, материал ленты и положение регулировочного валика. Матрица планирования посредством построения модели способствует распознаванию факторов, которые оказывают наибольшее влияние на параметр оптимизации, а также каким факторам преимущественно необходимо уделять внимание при контроле качества. Данный параметр является признаком (показания прибора), по которому оптимизируется процесс, а также происходит модификация системы для улучшения её эффективности и производительности. В ходе проведенного эксперимента выявлено, что при эксплуатации и совершенствовании конвейерного оборудования акцентировать свое внимание необходимо на материале ленты и положении регулировочного валика, так как данные факторы наиболее влияют на производительность отделения связи.

Таким образом, практическое применение методов планирования эксперимента, позволяет обеспечить высокую производительность и устойчивое развитие предприятия.

Литература

1. Автоматом по адресу // Российская газета. 2019. Режим доступа: <https://rg.ru/2019/10/17/reg-cfo/kak-v-pervom-iz-sovremennyh-sortirovochnyh-centrov-obrabatyvaiut-pochtu.html> (дата обращения: 16.04.2020)
2. Ленточный конвейер // Промышленный портал. 2016. Режим доступа: <http://myfta.ru/articles/lentochnyy-konveyer> (дата обращения: 16.04.2020)
3. Производственный процесс // The Village. 2016. Режим доступа: <https://www.the-village.ru/village/business/process/229819-pochta-rossii> (дата обращения: 17.04.2020)
4. *Ambriško L.* Application the doe method on conveyor belt tension by dynamic impact loading // *Transport & Logistics.*, 2016. Vol. 46. PP. 1-7.
5. *Barburski M.* Analysis of the mechanical properties of conveyor belts on the three main stages of production // *Journal of Industrial Textiles.*, 2014. Vol. 45. PP. 1322-1334.
6. *Deepak G., Dheeraj D.* Study and Performance of Belt Conveyor System with Different Type Parameter // *International Journal for Innovative Research in Science & Technology.*, 2015. Vol. 2. PP. 29-31.
7. *Fedorko G., Molnar V., Dovica M., Toth T.* Conveyor Belt Quality Assessment for In-House Logistics // *Quality - Access to Success.*, 2018. Vol. 19. PP. 35-38.
8. *Сергеева И.Г., Поцулин А.Д., Чуднова О.* Построение современных управленческих решений на базе применения методов Design of Experiments (DOE) для определения значений факторов оптимизации в легкой промышленности // *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент - 2020.* - № 1(40). - С. 121-131
9. *Xiao M., Shen X., Ma Y., Yang F., Gao N., Wei W., Wu D.* Prediction of Surface Roughness and Optimization of Cutting Parameters of Stainless Steel Turning Based on RSM // *Mathematical Problems in Engineering.*, 2018. Vol. 2018. PP 1-15.
10. *Shahzad A.* Statistical Analysis of Yarn to Metal Frictional Coefficient of Cotton Spun Yarn Using Taguchi Design of Experiment // *Journal of Strain Analysis for Engineering Design.* 2018. Vol. 5. PP. 485-493.
11. Система нормативов NORMACS. 2020. Режим доступа: <https://www.normacs.ru/docs.jsp> (дата обращения: 20.04.2020)

12. ГОСТ 20-85 Ленты конвейерные резинотканевые. Технические условия (с Изменениями № 1-5) – Введ. 1987-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 35 с.
13. ГОСТ 22644-77 (СТ СЭВ 1333-78) Конвейеры ленточные. Основные параметры и размеры (с Изменениями № 1, 2) – Введ. 1980-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 5 с.
14. Adler Yu.P. Planirovanie eksperimenta pri poiske optimal'nykh uslovii / Yu.P. Adler, E.V. Markova, Yu.V. Granovskii. 2-e izd., pererab. i dop. Moskva: Nauka. 1976. 280 s.
15. Любченко Е.А., Чуднова О.А. Планирование и организация эксперимента: учебное пособие. Часть 1. – Владивосток: Изд-во ТГЭУ, 2010. – 156 с.

References

1. Avtomatom po adresu // Rossijskaya gazeta. 2019. Rezhim dostupa: : <https://rg.ru/2019/10/17/reg-cfo/kak-v-pervom-iz-sovremennyh-sortirovochnyh-centrov-obrabatyvaiut-pochtu.html> (data obrashcheniya: 16.04.2020)
2. Lentochnyj konvejer // *Promyshlennyj portal*. 2016. Rezhim dostupa: <http://myfta.ru/articles/lentochnyy-konvejer> (data obrashcheniya: 16.04.2020)
3. Proizvodstvennyj process // The Village. 2016. Rezhim dostupa: <https://www.the-village.ru/village/business/process/229819-pochta-rossii> (data obrashcheniya: 17.04.2020)
4. Ambriško E. Application the doe method on conveyor belt tension by dynamic impact loading // *Transport & Logistics*., 2016. Vol. 46. PP. 1-7.
5. Barburski M. Analysis of the mechanical properties of conveyor belts on the three main stages of production // *Journal of Industrial Textiles*., 2014. Vol. 45. PP. 1322-1334.
6. Deepak G., Dheeraj D. Study and Performance of Belt Conveyor System with Different Type Parameter // *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*., 2015. Vol. 2. PP. 29-31.
7. Fedorko G., Molnar V., Dovica M., Toth T. Conveyor Belt Quality Assessment for In-House Logistics // *Quality - Access to Success*., 2018. Vol. 19. PP. 35-38.
8. Sergeeva I.G., Pocolin A.D., CHudnova O. Postroenie sovremennyh upravlencheskih reshenij na baze primeneniya metodov Design of Experiments (DOE) dlya opredeleniya znachenij faktorov optimizacii v lyogkoj promyshlennosti // *Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Seriya: Ekonomika i ekologicheskij menedzhment - 2020. - № 1(40)*. - S. 121-131.
9. Xiao M., Shen X., Ma Y., Yang F., Gao N., Wei W., Wu D. Prediction of Surface Roughness and Optimization of Cutting Parameters of Stainless Steel Turning Based on RSM // *Mathematical Problems in Engineering*., 2018. Vol. 2018. PP 1-15.
10. Shahzad A. Statistical Analysis of Yarn to Metal Frictional Coefficient of Cotton Spun Yarn Using Taguchi Design of Experiment // *Journal of Strain Analysis for Engineering Design*. 2018. Vol. 5. PP. 485-493.
11. Sistema normativov NORMACS. 2020. Rezhim dostupa: <https://www.normacs.ru/docs.jsp> (data obrashcheniya: 20.04.2020)
12. GOST 20-85 Lenty konvejernye rezinotkanevye. Tekhnicheskie usloviya (s Izmeneniyami № 1-5) – Vved. 1987-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 35 с.
13. GOST 22644-77 (ST SEV 1333-78) Konvejery lentochnye. Osnovnye parametry i razmery (s Izmeneniyami № 1, 2) – Vved. 1980-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 5 с.
14. Adler Yu.P. Planirovanie eksperimenta pri poiske optimal'nykh uslovii / Yu.P. Adler, E.V. Markova, Yu.V. Granovskii. 2-e izd., pererab. i dop. Moskva: Nauka. 1976. 280 s.
15. Lyubchenko E.A., CHudnova O.A. Planirovanie i organizaciya eksperimenta: uchebnoe posobie. CHast' 1. – Vladivostok: Izd-vo TGEU, 2010. – 156 с.

Статья поступила в редакцию 21.05.2020 г