

УДК 656.614.3

Т. Е. Маликова,
канд. техн. наук, доцент,
Морской государственный
университет им. адм. Г. И. Невельского

ДВУХФАКТОРНЫЙ РАНДОМИЗИРОВАННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ИЗУЧЕНИЮ УСЛОВИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОМПЕНСАЦИОННОГО ПНЕВМОРЕГУЛЯТОРА В ШТАБЕЛЕ ТРУБ

RANDOMIZED EXPERIMENT OF TWO FACTORS IN STUDYING COMPENSATION PNEUMATIC CONTROLLER CONDITION IN A PIPE LAYDOWN

Исследовано влияние величины давления в пневморегуляторе от числа труб, которые перекрывают пневморегулятор, и от натяжения найтовов; в результате экспериментальных исследований получен расчетный график для определения избыточного давления в пневморегуляторе.

Dependence of the pressure value within a pneumatic controller on the amount of pipes covered by the pneumatic controller as well as on the tension of lashings; experiments done resulted in making up a nomogram chart for determining excessive pressure within the pneumatic controller.

Ключевые слова: двухфакторный эксперимент, планирование эксперимента, пневморегулятор, штабель труб, пневмотехнология, регулирование смещаемости грузов.

Key words: experiment of two factors, experiment planning, pneumatic controller, pipe laydown, pneumatic technology, cargo shifting control.

В МОРСКОМ государственном университете им. адм. Г. И. Невельского выполнялись комплексные исследования и разрабатывались новые технологии крепления грузов на морских судах. Основным исходным положением при разработке новых технологий является регулирование смещаемости грузов с использованием компенсационных пневморегуляторов. При этом избыточное давление воздуха внутри пневморегуляторов должно удовлетворять определенным требованиям, соответствующим заданному условию регулирования смещаемости определенного вида груза.

В частности, была разработана пневмотехнология обеспечения сохранной и безопасной перевозки штабеля труб на палубе судна [1, с. 849–850]. Регулирование смещаемости штабеля обеспечивается пневморегулятором, который располагается под верхним рядом труб в штабеле. Роль пневморегулятора — поддерживать постоянное натяжение найтовов, что исключает перекачивание, смещение или выпадение труб из штабеля, то есть его опасное разрушение, и способствует сохранению устойчивого состояния штабеля при его транспортировке на судне. Давление в пневморегуляторе рассчитывается из условия поддержания нужного натяжения найтовов. При снижении давления в пневморегуляторе его своевременно подкачивают, тем самым исключается необходимость в постоянном и нелегком физическом труде по натяжению обтягивающих средств.

Для изучения зависимости величины давления в пневморегуляторе от числа труб, перекрываемых устройством, и натяжения найтовов был поставлен полностью рандомизированный двухфакторный эксперимент. Предполагается, что количество труб, перекрываемых оболочкой, и натяжение найтовов влияет на величину избыточного давления в пневморегуляторе. Для изучения этого взаимного влияния ставился факторный эксперимент типа 3×2 , для которого уровни обоих факторов были заданы фиксированными и количественными величинами.

Эксперимент ставился на стенде с подвижной платформой, оборудованном измерительным устройством для фиксирования углов наклона платформы. Для опытов использовались трубы

длиной 50 см и диаметром 10 см. Из них на стенде формировался штабель, внутри которого, под верхним рядом труб, располагался пневморегулятор. Полученный штабель обвязывался шпагатами, взятыми в качестве найтовов.

При планировании эксперимента было решено записывать по три показания при каждом из шести (3×2) экспериментальных условий, так как данные предыдущих экспериментов показали, что величина давления в пневморегуляторе весьма хорошо воспроизводила заметные различия между натяжением найтовов и количеством труб, перекрываемых устройством. Следует отметить, что не составляет труда полностью рандомизировать порядок проведения 18 испытаний — по три в каждом из 6 экспериментальных условий. Для этого были пронумерованы шесть вариантов экспериментальных условий цифрами от 1 до 6 и бросанием кости определили, какое из экспериментальных условий необходимо осуществлять первым, вторым, третьим и т. д., до тех пор пока не был определен порядок выполнения всех 18 испытаний.

При бросании кости получены следующие результаты: 6, 5, 4, 2, 3, 4, 5, 2, 1, 6, 6, X, 1, 3, 1, X, X, 4, X, 5, где повторные значения (X) пропускаются, если три таких значения уже получены ранее. Последний раз кость можно не бросать, так как в полученной на этот момент последовательности только один номер встречается дважды. Он и будет последним номером последовательности, где каждая из шести цифр встречается только три раза. В итоге получим схему проведения полностью рандомизированного эксперимента типа 3×2 (табл. 1). Благодаря рандомизации последовательность испытаний, представленная в табл. 1, достаточно хорошо разбросана по условиям эксперимента. Единственным ограничением на эксперимент является условие проведения трех наблюдений на каждый вариант испытания. Большим преимуществом для анализа данных, полученных в ходе предстоящего эксперимента, является тот факт, что число наблюдений одинаково для всех экспериментальных условий.

Таблица 1

**Схема проведения эксперимента по изучению влияния
натяжения найтовов и количества труб**

Количество труб	Натяжение найтовов	
	$t = 1$	$t = 2$
2	1 9, 12, 14	4 3, 6, 15
4	2 4, 8, 16	5 2, 7, 17
6	3 5, 13, 18	6 1, 10, 11

В эксперименте шесть экспериментальных условий, следовательно, существует пять степеней свободы между этими шестью вариантами и $2 \times 6 = 12$ степеней свободы внутри вариантов. Так как каждый уровень одного фактора сочетается с каждым уровнем другого, то две степени свободы можно приписать количеству труб (строки табл. 1) и одну степень свободы — натяжению найтовов (столбцы табл. 1). Таким образом, остается $5 - 2 - 1 = 2$ степени свободы между вариантами испытаний. Эти степени свободы относятся к взаимодействию между натяжением найтовов и количеством труб, перекрываемых пневморегулятором. Модель эксперимента в этом случае примет вид

$$X_{ijk} = \mu + P_i + T_j + PT_{ij} + \varepsilon_{k(ij)},$$

где P_i — соответствует количеству труб, перекрываемых пневморегулятором ($i = \overline{1; 3}$); T_j — натяжению найтовов ($j = \overline{1; 2}$); PT_{ij} — взаимодействию между двумя этими факторами; $\varepsilon_{k(ij)}$ — случайной ошибке в ячейке (i, j) , где $k = \overline{1; 3}$.

Для анализа этого эксперимента данные были собраны в соответствии со схемой рандомизации, представленной в табл. 1. Результаты эксперимента записаны в табл. 2.

Таблица 2

Данные двухфакторного эксперимента

Количество труб	Натяжение найтовов	
	$t = 1$	$t = 2$
$n = 2$	0,47 0,63 0,64	0,98 1,3 1,2
$n = 4$	0,31 0,29 0,27	0,61 0,57 0,56
$n = 6$	0,21 0,2 0,16	0,37 0,38 0,42

Для упрощения проведения дальнейшего анализа запишем данные эксперимента в табл. 3. Индексы при P и T указывают уровень этих факторов в каждом варианте испытаний. Проанализируем данные этой таблицы с помощью однофакторного дисперсионного анализа и найдем сумму квадратов между вариантами испытаний. Искомая величина в таблице выделена жирным шрифтом.

Таблица 3

Результаты расчетов однофакторного дисперсионного анализа

Варианты испытаний	P_2T_1	P_2T_2	P_4T_1	P_4T_2	P_6T_1	P_6T_2	Сумма
	0,47	0,98	0,31	0,61	0,21	0,37	
	0,63	1,3	0,29	0,57	0,2	0,38	
	0,64	1,2	0,27	0,56	0,16	0,42	
T_j	1,74	3,48	0,87	1,74	0,57	1,17	1,3689
$\sum_{i=1}^3 x_{ij}^2$	1,0274	4,0904	0,2531	1,0106	0,1097	0,4502	6,9414
	0,2209	0,9604	0,0961	0,3721	0,0441	0,1369	
	0,3969	1,69	0,0841	0,3249	0,04	0,1369	
	0,4096	1,44	0,0729	0,3136	0,0256	0,1764	
$SS_{\text{общ}}$							6,86535
$SS_{\text{исп}}$							1,769782
$SS_{\text{ош}}$							5,095568
T_j^2	3,0276	12,1104	0,7569	3,0276	0,3249	1,3689	1,873887
n	3	3	3	3	3	3	18
T_j^2/n	1,0092	4,0368	0,2523	1,0092	0,1083	0,4563	0,104105

Теперь вернемся к табл. 2 и применим к данным эксперимента методы двухфакторного дисперсионного анализа. Результаты расчетов представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты расчетов двухфакторного дисперсионного анализа

Количество труб	Натяжение найтова		P_i	Сумма блока
	$t = 1$	$t = 2$		
$n = 2$	0,47 0,63 0,64	0,98 1,3 1,2	1,45 1,93 1,84	5,22
$n = 4$	0,31 0,29 0,27	0,61 0,57 0,56	0,92 0,86 0,83	2,61
$n = 6$	0,21 0,2 0,16	0,37 0,38 0,42	0,58 0,58 0,58	1,74
T_j	3,18	6,39	9,57	
T_j^2	10,1124	40,8321	91,5849	50,9445
$SS_{\text{найтова}}$				0,57245
P_i^2	27,2484	6,8121	3,0276	37,0881
$SS_{\text{трубы}}$				1,0933
Сумма SS				1,66575
$SS_{\text{общ}}$				6,86535
Взаимодействие				5,1996
Результаты дисперсионного анализа				
Источник изменчивости	Число степеней свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат	
Найтовы	1	0,57245	0,57245	
Трубы	2	1,0933	0,54665	
Взаимодействие	2	5,1996	2,5998	
Ошибка	12	1,66575	0,138813	
Сумма	17	8,5311		
$F_{2,12}$	4,123908	значимы трубы		
$F_{1,12}$	3,938046	значимы найтовы		
$F_{2,12}$	18,72886	значимо взаимодействие		

Используя приведенные выше результаты, можно проверить три следующие гипотезы:

— $H_1: P_i = 0$, для всех i (нет влияния количества труб),

$F_{2,12} = 0,54665/0,138813 = 4,123908$, эта величина значима при 1 %-ном уровне значимости;

— $H_2: T_j = 0$, для всех j (нет влияния натяжения найтовок),

$F_{1,12} = 0,57245/0,138813 = 3,938046$, эта величина значима при 1 %-ном уровне значимости;

— $H_3: PT_{ij} = 0$, для всех i и j (нет влияния взаимодействия изучаемых факторов),

$F_{2,12} = 2,5998/0,138813 = 18,72886$, эта величина значима при 1 %-ном уровне значимости.

Результаты этих трех проверок показывают, что величина давления в пневморегуляторе зависит от числа труб, которые перекрывает пневморегулятор, и от натяжения найтовок; чем больше

рядов труб перекрывает пневморегулятор, тем при меньшей величине избыточного давления обеспечивается заданное натяжение найтовов. На основании проведенных исследований был получен расчетный график для определения давления в пневморегуляторе (рис. 1).

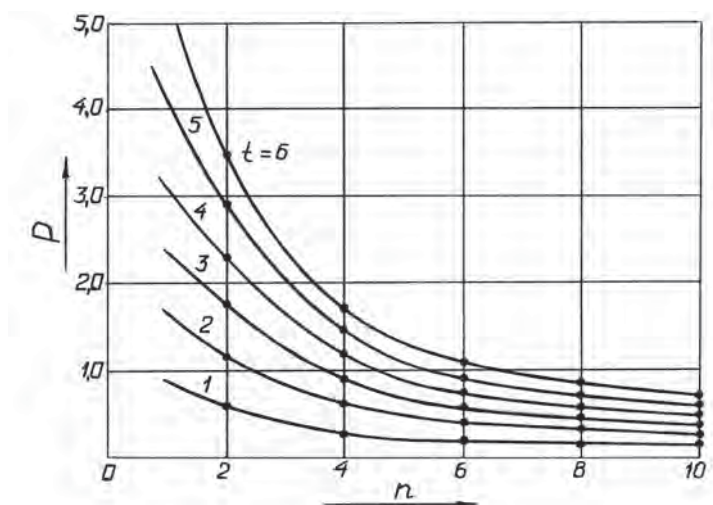


Рис. 1. Расчетный график для определения давления в пневморегуляторе:

$2n$ — число труб, которое перекрывает оболочка;

p, t — относительные значения давления в пневморегуляторе и натяжения найтовых

Результаты эксперимента были использованы при разработке новой технологии крепления штабеля труб на палубе судна для определения наилучшего местоположения регулятора в штабеле, а также в методике расчета технологических параметров устройства [2, с. 30–33].

Список литературы

1. Пат. 2241632 Российская Федерация, МПК⁷ В 63 В 25/24. Способ крепления штабеля труб: [текст] / Москаленко А. Д., Маликова Т. Е., Шпак А. С.; заявитель и патентообладатель Морс. гос. ун-т им. адм. Г. И. Невельского. — № 2000130744; заявл. 07.12.00; опуб. Бюл. «Изобретения. Полезные модели». — М., 2004.
2. Маликова Т. Е. Методика расчета технологических параметров средств крепления смещающихся грузов на основе компенсационных пневмооболочек: [текст] / Т. Е. Маликова, А. Д. Москаленко, А. С. Шпак // Вестник Морского гос. ун-та. Проектирование и расчет конструкций из мягких оболочек. — Владивосток: Морс. гос. ун-т им. адм. Г. И. Невельского, 2003.