

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ДИСПЕРСИОННОГО И КОВАРИАЦИОННОГО АНАЛИЗА В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ

Боровикова О.В., ст. преподаватель
Белорусско-Российский университет

Аннотация. В статье приведен пример использования средств дисперсионного и ковариационного анализа для выявления факторов, оказывающих влияние на качество продукции на предприятии. Подробно рассмотрены этапы построения ANOVA и ANCOVA-моделей, и на основе результатов анализа сформулированы рекомендации по управлению качеством.

Ключевые слова: управление качеством, дисперсионный анализ, ковариационный анализ.

Жизнеспособность компании на рынке в условиях глобализации во многом определяется конкурентоспособностью продукции или услуги, которую она производит или оказывает. В свою очередь, конкурентоспособность неразрывно связана с понятием качества данной продукции. Управление качеством предполагает сбор и анализ больших объемов данных, поэтому лицу, принимающему решения в этой области, необходимо использовать математические и статистические методы для систематизации и обобщения информации.

Одной из задач, возникающих при оперативном управлении процессами на предприятии, является выявление факторов, оказывающих непосредственное влияние на качество продукции. По сути, это типичный пример задач регрессионного и дисперсионного анализов, которые предполагают определение взаимосвязей между переменными и оценку значимости этих связей. Особенностью задач управления качеством является то, что исследователю часто необходимо оценить влияние качественных переменных на некий контролируемый параметр. Например, цель исследования может быть сформулирована следующим образом: есть ли различие в показателях качества продукции у различных рабочих смен, или у разного типа оборудования; влияет ли сортность или марка исходного материала на количество бракованной продукции и т.д. В этом случае, в регрессионную модель необходимо вводить так называемые фиктивные переменные, причем их количество должно быть на один меньше, чем возможных вариантов значения качественной переменной. Если рассматриваются регрессионные модели, содержащие только

качественные объясняющие переменные, то говорят об ANOVA модели или модели дисперсионного анализа. Если же в модели присутствуют и качественные, и количественные переменные, то говорят о ковариационном анализе (модель ANCOVA).

Рассмотрим применение ANOVA и ANCOVA моделей на примере одного из предприятий г. Могилева, которое является производителем пластмассовой упаковки, в первую очередь, пластиковых ведер. Экспертами было отмечено, что некоторые термопластавтоматы (ТПА), на которых осуществляется литье ведер под давлением, чаще дают сбои и требуют переналадки, и, возможно, имеют больший процент бракованной продукции. В качестве исходных данных были взяты данные по браку за январь – август 2020 года, включающие объем выпуска (шт.), процент брака и номер ТПА, на котором было изготовлено изделие.

По исходным данным были рассчитаны показатели описательной статистики и из них были исключены данные-выбросы, с аномально высокими или низкими значениями переменных.

Также были рассчитаны средние значения брака для каждого ТПА (рисунок 1).

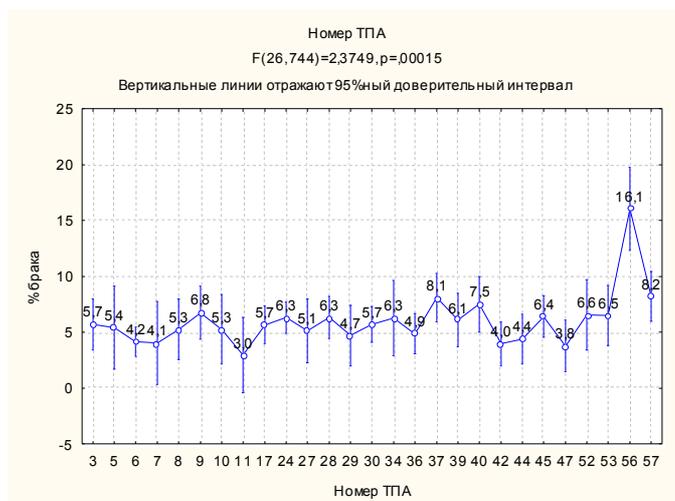


Рисунок 1 - Средний уровень брака для разных ТПА

На рисунке 1 видно, что наибольший средний уровень брака в 16,1 % наблюдается у ТПА номер 56, также высокие значения у ТПА номер 57 (8,2 %) и ТПА номер 37 (8,1 %).

Для оценки влияния типа ТПА на процент брака была построена ANOVA-модель зависимости процента брака от номера ТПА. Выдвигалась гипотеза о том, что средние значения брака для каждого

ТПА статистически не различаются между собой. Так как р-значение (рисунок 2) меньше уровня значимости (0,05), то можно говорить о том, что с вероятностью 95 % значения средних нельзя считать равными, а следовательно фактор «номер ТПА» влияет на процент брака.

Тестирование значимости % брака (Spreadsheet исходные данные 111) ANOVA-модель Декомпозиция гипотезы						
Влияние	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Номер ТПА	7690,84	26	295,8015	4,710378	0,000000	
Error	46784,38	745	62,7978			

Рисунок 2 - Результаты построения ANOVA-модели в ППП Statistica

Также о статистической значимости построенной модели говорит и значимость коэффициента детерминации R^2 .

Для того, чтобы выяснить какое именно оборудование значимо влияет на процент брака, можно построить регрессионную зависимость, где в качестве независимых переменных будут выступать фиктивные переменные (со значениями 0 и 1), соответствующие 26 видам исследуемого оборудования, одно из которых выбирается в качестве базовой модели. Результаты приведены на рисунке 3.

Parameter Estimates (Spreadsheet исходные данные 111) Sigma-restricted parameterization									
Effect	Level of Effect	Column	% брака Param.	% брака Std Err	% брака t	% брака p	-95,00% Cnf.Lmt	+95,00% Cnf.Lmt	% брака Beta (C)
Intercept		1	6,00959	0,253107	23,74333	0,000000	5,51271	6,50648	
Номер ТПА	3	2	-0,29959	1,156761	-0,25899	0,795712	-2,57050	1,97131	-0,0128
Номер ТПА	5	3	-0,56159	1,837538	-0,30562	0,759977	-4,16897	3,04578	-0,0202
Номер ТПА	6	4	-1,82618	0,695244	-2,62667	0,008800	-3,19105	-0,46130	1,1094
Номер ТПА	7	5	-1,95559	1,837538	-1,06425	0,287562	-5,56297	1,65178	-0,0704
Номер ТПА	8	6	-0,72801	1,344424	-0,54151	0,588320	-3,36733	1,91130	-0,0292
Номер ТПА	9	7	0,75561	1,178582	0,64111	0,521646	-1,55814	3,06935	0,0322
Номер ТПА	10	8	-0,73388	1,558885	-0,47077	0,637942	-3,79422	2,32646	-0,0273
Номер ТПА	11	9	-3,05043	1,680615	-1,81507	0,069916	-6,34974	0,24888	-0,1137
Номер ТПА	17	10	-0,32735	0,860279	-0,38051	0,703672	-2,01621	1,36151	-0,0166
Номер ТПА	24	11	0,29941	0,732990	0,40847	0,683045	-1,13957	1,73838	0,0172
Номер ТПА	27	12	-0,87959	1,418655	-0,62002	0,535435	-3,66464	1,90545	-0,0344
Номер ТПА	28	13	0,31502	0,955729	0,32961	0,741784	-1,56122	2,19127	0,0157
Номер ТПА	29	14	-1,29538	1,344424	-0,96352	0,335598	-3,93470	1,34393	-0,0522
Номер ТПА	30	15	-0,31337	0,830096	-0,37751	0,705904	-1,94298	1,31624	-0,0166
Номер ТПА	34	16	0,26457	1,680615	0,15743	0,874952	-3,03474	3,56388	0,0091
Номер ТПА	36	17	-1,13317	0,923444	-1,22711	0,220171	-2,94603	0,67970	-0,0552
Номер ТПА	37	18	2,09213	1,098316	1,90485	0,057185	-0,06404	4,24830	0,0930
Номер ТПА	39	19	0,07874	1,201776	0,06552	0,947778	-2,28054	2,43801	0,0032
Номер ТПА	40	20	1,49450	1,252892	1,19284	0,233313	-0,96513	3,95412	0,0622
Номер ТПА	42	21	-2,03817	1,005230	-2,02756	0,042961	-4,01159	-0,06474	1,0952
Номер ТПА	44	22	-1,61388	1,116733	-1,44518	0,148829	-3,80620	0,57844	-0,0717
Номер ТПА	45	23	0,40216	0,944555	0,42576	0,670404	-1,45215	2,25647	0,0199
Номер ТПА	47	24	-2,23036	1,156761	-1,92811	0,054222	-4,50127	0,04054	-0,0964
Номер ТПА	52	25	0,54898	1,558885	0,35216	0,724818	-2,51136	3,60932	0,0201
Номер ТПА	53	26	0,49620	1,344424	0,36908	0,712175	-2,14312	3,13551	0,0201
Номер ТПА	56	27	0,04241	1,837538	5,46514	0,000000	6,43503	3,64978	1,3625

Рисунок 3 - Параметры регрессионной модели в рамках анализа ANOVA

На рисунке представлены коэффициенты линейного уравнения регрессии при 26 фиктивных переменных. В качестве базы для

сравнения был взят ТПА номер 57 (его нет в списке). Статистически значимыми признаны коэффициенты при ТПА под номерами 6, 42 и 56, а также свободный член, который в данном случае характеризует среднее влияние на уровень брака базовой модели. Соответственно, можно сделать вывод, что узкими местами на предприятии в плане формирования качества продукции являются ТПА под номерами 56 и 57, они присутствуют в модели со знаком «+», а значит увеличивают уровень брака. Статистически значимое отрицательное влияние имеют ТПА номер 6 и 42. Эксперты подтвердили последние выводы, т.к за термопластавтоматом номер 6 закреплена конкретная пресс-форма и робот IML, что устраняет необходимость в переналадке робота, что в свою очередь, минимизирует уровень брака, получаемый при запуске нового проекта. Что касается ТПА номер 42, то в 4 квартале 2019 года на нем был установлен новый комплекс прессформа и робот IML, это значительно упростило процесс наладки, что позволило снизить брак, который возникает по причине неисправности робота IML (потери вакуума, смещение этикетки на конечном изделии и т.п.).

На предприятиях, где используются ТПА для литья под давлением, имеется специфика необходимости переналадки оборудования под новые заказы, а значит, под новые пресс-формы. Это ведет к тому, что, как правило, с увеличением объема выпуска уровень брака падает, т.к. специалисты успевают откалибровать оборудование. Данную гипотезу подтверждают и график рассеяния исходных данных (рисунок 4).

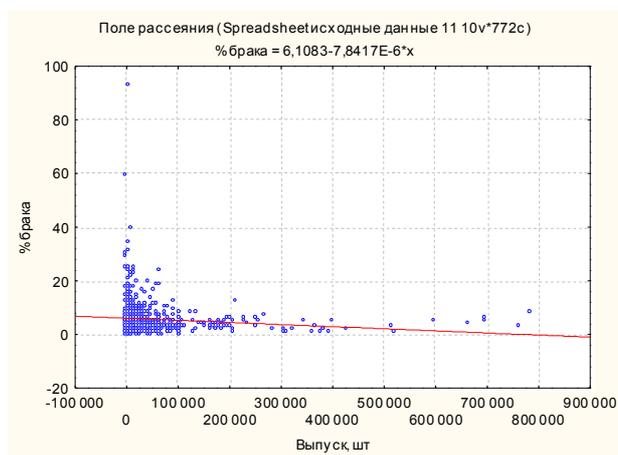


Рисунок 4 - График зависимости процента брака от объема выпуска

На рисунке видна скученность значений в диапазоне выпуска от 0 до 100 000 шт, а также отрицательные наклон предполагаемой линии регрессии. Была оценена значимость уравнения зависимости,

представленного на рисунке. На уровне значимости 5 % уравнение можно считать статистически надежным. Коэффициент корреляции Пирсона между указанными переменными также значим и составляет - 0,11. Т.е. линейная связь есть, и она отрицательная, т.е. с увеличением одной переменной, вторая уменьшается.

Для учета в модели количественной переменной объем выпуска удобно использовать модель ANCOVA - модель ковариационного анализа. В данном случае помимо качественной переменной номер ТПА в модель была введена количественная – объем выпуска. Модель получилась статистически значимая – на уровне 95 % значим коэффициент детерминации, значимо влияние на уровень брака объема выпуска, а также подтверждена статистически разница в средних уровнях брака на разных ТПА. В целом, выводы по модели оказались аналогичны ANOVA-модели, но в качестве оборудования, отрицательно влияющего на уровень брака также было отмечено ТПА номер 37.

По результатам проведения дисперсионного и ковариационного анализа могут быть сделаны следующие выводы:

- на предприятии существует обратная связь между уровнем брака и объема выпуска продукции;

- уровень брака напрямую зависит от оборудования, на котором изготавливается изделие;

- статистически значимое отрицательное влияние на уровень брака имеют ТПА под номерами 56, 57 и 37, именно это оборудование является узким местом на предприятии; требуется проведение дополнительного анализа причин возникновения брака на данных ТПА и реализация производственных мероприятий для устранения имеющихся проблем.

Список литературы:

1. Бородич С.А. Эконометрика: учебное пособие, Мн.: Новое знание, 2006. 408 с.
2. Елисеева И.И. Эконометрика: учебник для магистров. М.: Издательство Юрайт, 2012. 453 с.