УДК 004

## ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

## Новикова Т.Б., Курзаева Л.В.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, e-mail: tglushenko 2184@mail.ru

В России в последнее время активно предпринимаются шаги, направленные на превращение страны в современное высокотехнологичное государство. Мировая практика принятия сложных управленческих решений в различных экономических, социальных, политических, технических, военных и иных системах перешла на принципиально новый уровень методологической и инструментальной поддержки, когда те или иные варианты решений должны быть предварительно апробированы не на реальных объектах и людях, а на их аналогах, т. е. на моделях. В данной статье описаны задачи интерпретации, оптимизации, уровни варьирования управляемых факторов, рассмотрена матрица планирования эксперимента, средние значения откликов, постулаты регрессионного анализа, проведен расчет коэффициентов регрессии, рассмотрено расчетное и модельное значения откликов, интерпретация результатов, вклад факторов в величину отклика и др.

Ключевые слова: модель, имитационное моделирование, Arena

# ASSESSMENT OF THE ADEQUACY SIMULATION MODEL OF TRANSPORT Novikova T.B., Kurzaeva L.V.

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, e-mail: tglushenko 2184@mail.ru

In Russia has been actively taking steps aimed at turning the country into a modern high-tech state. World practice of taking difficult management decisions in different economic, social, political, technical, military and other systems has moved to a new level of methodological and instrumental support, when these or other possible solutions should be pre-tested in a real-world objects and people, and in their analogs, t. e. on the models. This article describes the interpretation of the problem, optimization levels varying controllable factors considered by the matrix of experimental design, the mean values of responses, the postulates of regression analysis, we calculated the regression coefficients, considered design and model the values of response, interpretation of results, the contribution of the factors in the response magnitude and others.

Keywords: model, simulation, Arena

Формулировка целей исследования:

Цель 1. Задача интерпретации: выявление функциональных зависимостей затрат на транспортное обслуживание и степень выполнения заявок на доставку от количества, используемых транспортных средств (собственных и заемных), дистанции перевозки и продолжительности простоев.

Цель 2. Задачи оптимизации:

- а. Определить оптимальный состав собственных и заемных транспортных средств, позволяющих осуществить своевременное и ритмичное обслуживание строительного объекта.
- b. Определить рациональность использования одного из двух альтернативных материалов шлака или скалы с точки зрения транспортного обслуживания.

Целью направленного вычислительного эксперимента является выбор таких управляющих параметров, при которых стратегия управления предприятием будет оптимальной.

Функция отклика:

- $Y_1$  затраты на транспортное обслуживание строительного объекта;
- $Y_2$  средняя загруженность собственных автотранспортных средств;
- $Y_3$  средняя загруженность автотранспортных средств сторонних организаций.

В моделируемой системе к основному показателю качества отнесем затраты на транспортное обслуживание строительного объекта, определяемых количеством используемых автомобилей, позволяющих добиться ритмичности и своевременности поставок (на конец каждого дня наряды должны быть выполнены полностью). Для расчета затрат будем суммировать стоимость расхода ГСМ собственными автотранспортными средствами и стоимость услуг по автотранспортному обслуживанию сторонних организаций.

Факторы:

- $X_{\rm l}$  количество используемых собственных автотранспортных средств;
- $X_2$  количество используемых автотранспортных средств сторонних организаций
- $X_3$  расстояние между альтернативными материалами (шлаком и скальной породой).
- $X_{1},\ X_{2},\ X_{3}$  изменяемые и управляемые факторы.

В модели также учитываются неуправляемые случайные факторы.

Выбор экспериментальной области факторного пространства связан с тщательным анализом априорной информации. Для этого определим уровни варьирования каждого фактора в табл. 1.

Таблица	1
таолица	1

Уровни варьирования управляемых факторов

	<i>X</i> 1	X2	X3
Основной уровень	2	4	-
Интервал варьирования	0	1	6
Верхний уровень	2	5	30
Нижний уровень	2	4	24

При таком анализе было определено, что собственных автотранспортных средств недостаточно для обслуживания строительного объекта, поэтому нижний уровень фактора  $X_1$  равен 2. Следовательно, первоначально считающийся изменяемый фактор будет в данном эксперименте постоянным [1, 2]. Для  $X_2$  нижний уровень варьирования 4, так как по предположениям именно с этого уровня транспортное обслуживание приобретает ритмичный и своевременный характер.

Выберем план с разрешающей способностью  $III - N = 2^3$ 

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X 1 X_2 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{13} X 1 X_3 + \beta_{123} X 1 X_2 X_3 + e$$

Так как постулируется линейная модель, то предполагается, что эффекты взаимодействия близки к нулю, и поэтому  $b_1 \cong \beta_1$ ,  $b_2 \cong \beta_2$ ,  $b_3 \cong \beta_3$ .

Матрица планирования эксперимента

$X_1$	$X_{2}$	$X_3$	Y
-	-	-	<i>Y</i> 1
-	-	+	<i>Y</i> 2
-	+	-	<i>Y</i> 3
-	+	+	<i>Y</i> 4

Определяющий контраст  $x_1x_2x_3$ . Коэффициенты линейного уравнения будут оценками:

$$b_1 \rightarrow \beta_1 + \beta_{23}$$
,  $b_2 \rightarrow \beta_2 + \beta_{13}$ ,  $b_3 \rightarrow \beta_3 + \beta_{12}$ .

По каждому набору факторов проведено четыре прогона в системе Arena.

В результате были получены результаты, сведенные в табл. 2:

В табл. 2 знак "-" означает, что в модели начинает расти очередь необслуженных заявок, о чем предупреждает система Arena и имитация заканчивается [3, 4]. Данная ситуация является следствием того, что увеличение расстояния сказывается на неспособности данного количества транспортных средств выполнить наряды своевременно,

$$Y_{1cp} = 1109493 D_1 = 1134918009 \sigma_1 =$$
  
=33688,54;

$$Y_{\text{2cp}} = 1,97(6) D_2 = 0,00023333 \sigma_2 = 0,01527525;$$

$$Y_{3cp} = 3.96(6) D_3 = 0.022033 \sigma_3 = 0.148436.$$

## Обработка результатов эксперимента

Проверим постулаты регрессионного анализа для  $Y_1$ :

1) Функция отклика — случайная величина, распределенная по нормальному закону со средним 1109493 и стандартным отклонением 33688,54, что подтверждено с помощью теста  $\chi^2$ , который возвращает вероятность 0,507 для  $\chi^2$  статистики.

#### 2) Однородность дисперсий

Отношение максимальной дисперсии к минимальной равно 589,37. Табличное значение F-критерия равно 33757,5 при степенях свободы  $f_1$ =k=3 и  $f_2$ =n-(k+1)=4. Расчетное значение меньше табличного, следовательно, принимается гипотеза об однородности дисперсий [5, 6].

3) Значение факторов  $X_1$ ,  $X_2$  и  $X_3$  – не случайные величины, так как установление фактора на некотором заданном уровне су-

Таблица 2

<i>x</i> .	$x_{\circ}$	$x_{2}$	Y	Y	Y
2	4	24	1081954	1.99	3.84
2	4	30	-	-	-
2	5	24	1099470	1,99	3,94
2	5	30	1147056	1,96	4,13

Средние значения откликов

щественно точнее, чем точность определения отклика.

4)  $\rho(X_1, X_2) = 0 \rightarrow$  корреляционная зависимость слаба, факторы не коррелированны.

 $\rho(X_1, X_3) = 0 \to$  корреляционная зависимость слаба, факторы не коррелированны.

 $\rho(X_2, X_3) = 0 \to$  корреляционная зависимость слаба, факторы не коррелированны. Расчеты проведены средствами Excel.

## Расчет коэффициентов регрессии

Применив метод наименьших квадратов (функция ЛИНЕЙН в Excel ) получим следующие коэффициенты:

$$b_0 = 32551$$

$$b_1 = 32551$$

$$b_2 = 41309$$

$$b_3 = 9390,6667$$

$$Y_{1cp} = 32551x_1 + 41309x_2 + +9390,6667x_3 + 32551.$$

## Оценка адекватности математической модели

Вычислим значения  $Y_{1cp}$ , рассчитанное по найденной функции (см. табл. 3).

Таблица 3 Расчетное и модельное значения откликов

$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Y_{\rm 1cp}$ по мо- дели	<i>Y</i> <sub>1cp</sub> рас- четное
2	4	24	1081954	1082047
2	4	30	_	_
2	5	24	1099470	1099554
2	5	30	1147056	1147055

Применим F-тест для сравнения совокупностей. F-тест = 0,996970715. Полученное значение меньше табличного (<6,39, при уровне значимости 0,05), что говорит об адекватности полученной модели. Поэтому с доверительной вероятностью 0,05 можно утверждать, что модель адекватна.

#### Интерпретация результатов

Т.к. коэффициенты регрессии указывают на силу влияния фактора на отклик можно сказать, что при увеличении значения любого из трех факторов значение функции увеличится. Величина коэффициента соответствует вкладу данного фактора в величину отклика при переходе фактора с 0-го уровня на верхний или на нижний. Эффект от фактора равен удвоенному коэффициенту регрессии, эффекты представлены в табл. 4 и расположены в порядке убывания силы из влияния на параметр оптимизации.

**Таблица 4** Вклад факторов в величину отклика

Фактор	Вклад в величи- ну отклика
Количество используемых собственных автотран- спортных средств	1059567601
Количество используемых автотранспортных средств сторонних организаций	1706433481
Расстояние между альтер- нативными источниками материалов	88184620,44

Полученные результаты совпадают с результатами анализа чувствительности: затраты на транспортное обслуживание строительства данного строительного объекта больше зависят от количества используемых собственных транспортных средств и средств сторонних организаций, чем от разницы в расстоянии между альтернативными источниками.

#### Оптимизация

В предыдущих пунктах доказано, что модель адекватно отражает результаты имитационного моделирования, следовательно, можно приступать к решению поставленной задачи оптимизации.

Решение первой задачи оптимизации заключалось в определении рациональности использования одного из двух альтернативных материалов — шлака или скалы с точки зрения транспортного обслуживания.

Исходя из табл. 4, с точки зрения транспортного обслуживания было установлено, что выгоднее осуществлять строительство с использованием скальной породы, чем с использование шлака. Решение второй задачи оптимизации заключалось в анализе очередей на выполнение нарядов, степени загрузки транспортных средств, а также затрат на них.

Согласно сгенерированным системой Агела отчетам были определены средние длины очередей заявок-нарядов, ожидающих транспортное средство.

Для  $X_1$ =2,  $X_2$ =4,  $X_3$ =24 средняя длина очереди по некоторым из них больше 1, следовательно, часть заявок на конец дня не выполняются. Загруженность собственных автотранспортных средств равна 0,96, транспортных средств сторонних организаций 0,96. Средняя стоимость обслуживания равна 1081954 руб.

Для  $X_1$ =2,  $X_2$ =5,  $X_3$ =24 средняя длина очереди по каждым типам нарядов равна меньше 1, что говорит о рациональности подобранного состава собственных транспортных средств и транспортных средств

сторонних организаций, позволяющих осуществить своевременное и ритмичное обслуживание строительного объекта. Загруженность собственных автотранспортных средств равна 0,96, транспортных средств сторонних организаций 0,788. Загруженность транспортных средств сторонних организаций меньше чем в предыдущем варианте, поэтому разница в стоимости такого варианта обслуживания равна по сравнению с предыдущим составляет 17516 руб. Такая загруженность объясняется привлечением средств сторонних организаций только в пики нагрузок системы. Средняя стоимость обслуживания равна 1099470 руб.

Таким образом, предпочтительный вариант транспортного обслуживания с позиции обеих задач оптимизации, когда грузоперевозки материалов на строительный объект осуществляют 2 собственных самосвала, 5 самосвалов сторонних организаций, а так-

же строительство ведется с использованием скальной породы.

#### Список литературы

- 1. Гаврилова И.В. Имитационное моделирование / И.В. Гаврилова. Магнитогорск: Изд-во Магн. гос. тех. унта им. Г.И. Носова, 2016.-104 с.
- 2. Гаврилова И.В. Дистанционный курс «Имитационное моделирование»: электронный учебно-методический комплекс / И.В. Гаврилова // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов. Наука и образование. 2015. № 11 (78). С. 62.
- 3. Гаврилова И.В. Методы построения информационной модели ARIS / И.В. Гаврилова, М.В. Махмутова, И.Д. Белоусова, А.М. Агдавлетова // Успехи современной науки. 2016. Т. 3. № 4. С. 36-38.
- 4. Гусева Е.Н. Имитационное моделирование экономических процессов в среде «Агела»: учеб. пособие: [электронный ресурс]. М.: Флинта, 2011. 132 с. Режим доступа: http://www.knigafund.ru/books/114189
- 5. Гусева Е.Н. Математические основы информатики/ Е.Н. Гусева, И.И. Боброва, И.Ю. Ефимова, И.Н. Мовчан, С.А. Повитухин, Л.А. Савельева. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2016. – 234 с.