

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОФИЛАКТИКИ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ
КРАНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ ИМИТАЦИОННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

М.А. Степанова (Казань)

Технология строительства и монтажа промышленных и жилых зданий, электростанций, линий электропередачи и других сооружений предусматривает широкое применение грузоподъемных машин и механизмов. Основную работу по подъему и перемещению строительных материалов и конструкций выполняют грузоподъемные краны, составляющие наибольшую часть строительных машин. Для поддержания грузоподъемных кранов в работоспособном состоянии и предотвращения их поломки целесообразно проводить периодические профилактические работы. Для выполнения всех профилактических работ в срок и сокращения времени простоя кранов на профилактических работах необходимо выбирать оптимальное количество работников, производящих профилактику грузоподъемных кранов. Наиболее целесообразно использовать методы имитационного моделирования и статистического анализа, которые позволяют в конечном итоге позволяют определить оптимальное количество работников для проведения профилактических работ для работающих (функционирующих) кранов.

Для моделирования и оптимизации процесса профилактики была предложена методика, состоящая из следующих этапов:

1. Выбор совокупностей результативных показателей эффективности процесса профилактики грузоподъемных машин и влияющих на них оптимизируемых и объективных факторов.

2. Математическая постановка задач.

3. Разработка и отладка имитационной модели.

4. Построение стратегического плана проведения экспериментов и проведение имитационных экспериментов.

5. Построение математической модели процесса, состоящей из совокупности уравнений регрессии.

6. Вывод формул для вычисления оптимального количества рабочих, необходимых для профилактических работ грузоподъемных кранов.

Далее последовательно рассмотрим все выделенные этапы.

1. Для исследования процессов отобраны 12 результативных показателей эффективности (таблица 1) и 9 влияющих на них факторов (табл. 2). Первые четыре фактора, которые мы можем менять для обеспечения требуемых значений откликов, будем называть оптимизируемыми факторами. Остальные факторы мы не имеем возможности менять сами и они меняются независимо от наших желаний, их будем называть объективными факторами.

Таблица 1

y1	прибыль предприятия за счет профилактики кранов (в рублях)
y2	суммарное время простоя на профилактике кранов-вышек (в часах)
y3	суммарное время простоя на профилактике стреловых кранов (в часах)
y4	суммарное время простоя на профилактике башенных кранов (в часах)
y5	суммарное время простоя на профилактике козловых кранов (в часах)
y6	суммарное время простоя на профилактике мостовых кранов (в часах)
y7	коэффициент занятости работников на механических работах
y8	коэффициент занятости работников на гидравлических работах
y9	коэффициент занятости работников на электромонтажных работах

Таблица 1(продолжение)

y10	коэффициент занятости работников на работа по приборам
y11	общее количество проведенных профилактик
y12	ср. время нахождения крана на профилактике (в часах)

Таблица 2

Обозначение	Наименование
x1	количество рабочих по профилактике механики
x2	количество рабочих по профилактике гидравлики
x3	количество рабочих по профилактике электромонтажа
x4	количество рабочих по профилактике приборов
x5	количество обслуживаемых вышек
x6	количество обслуживаемых стреловых кранов
x7	количество обслуживаемых башенных кранов
x8	количество обслуживаемых козловых кранов
x9	количество обслуживаемых мостовых кранов

2. Требуется построить математическую модель процесса в виде совокупности уравнений регрессии:

$$y_j = f_j(x_1, \dots, x_9); j = \overline{1, 12}. \quad (1)$$

По математической модели (1) производится постановка оптимизационной задачи:

$$\begin{aligned} y_1 = f_1(x_1, \dots, x_9) &\rightarrow \max; \\ a_j \leq f_j(x_1, \dots, x_9) &\leq b_j; \quad j = \overline{2, 12}. \\ c_i \leq x_i \leq d_i; &i = \overline{1, 4}, \end{aligned} \quad (2)$$

где a_j, b_j – левая и правая границы допустимых значений j -го результативного показателя эффективности; c_i, d_i – левая и правая границы допустимых значений i -го фактора;

По результатам оптимизации (2) выводятся расчетные формулы для вычисления оптимальных значений факторов: x_1, x_2, x_3, x_4 :

$$\begin{aligned} x_i = f_i(x_5, \dots, x_9); \\ i = \overline{1, 4}; \end{aligned}$$

3. Была разработана и отлажена имитационная модель процесса профилактики ГПМ на языке GPSS с помощью расширенного редактора GPSS World.

Схема процесса профилактики ГПМ в укрупненном виде представлена на рис. 1. Процесс профилактики включает основные этапа: моделирование процесса профилактики и мониторинг состояния рабочих. Исходные данные, используемые в процессе моделирования, также представлены отдельной схемой, которая приведена на рис. 2. На этой схеме отражены объективные и оптимизируемые факторы, выбранные ранее и представляемые в виде ТЭБов – логически законченных элементов, которые обладают интерфейсом (входами и выходами).

Схема моделирования процесса профилактики представлена на рис. 3.

4. В качестве стратегического принят план, состоящий из 51 варианта. В первом варианте – центральной точке – взяты средние значения всех факторов. Еще 32 варианта в геометрической интерпретации представляют собой вершины куба для пяти основных оптимизируемых факторов, четыре остальных дополнительных фактора меняются по законам изменения произведений основных факторов, т.е. реализуется план дробного

факторного эксперимента. Для обеспечения отображения возможных нелинейностей в зависимостях результативных показателей эффективности от влияющих на них факторов вводятся 18 «звездных» точек.

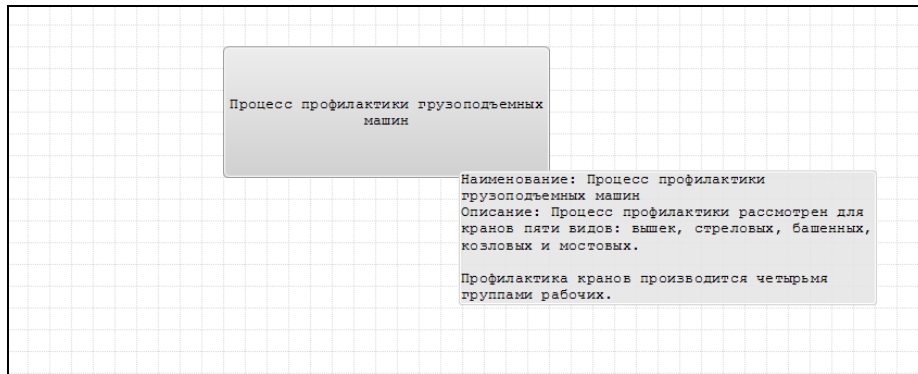


Рис. 1. Схема процесса профилактики ГПМ

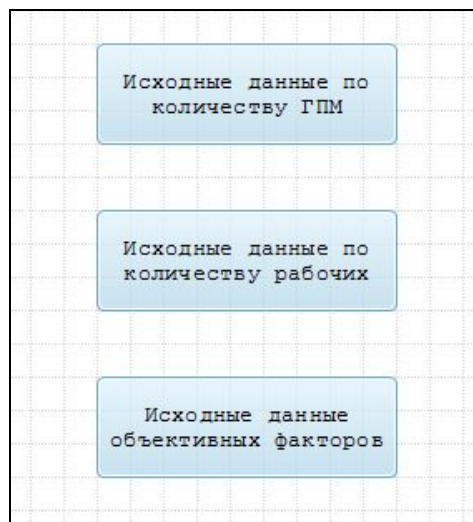


Рис. 2. Исходные данные процесса моделирования

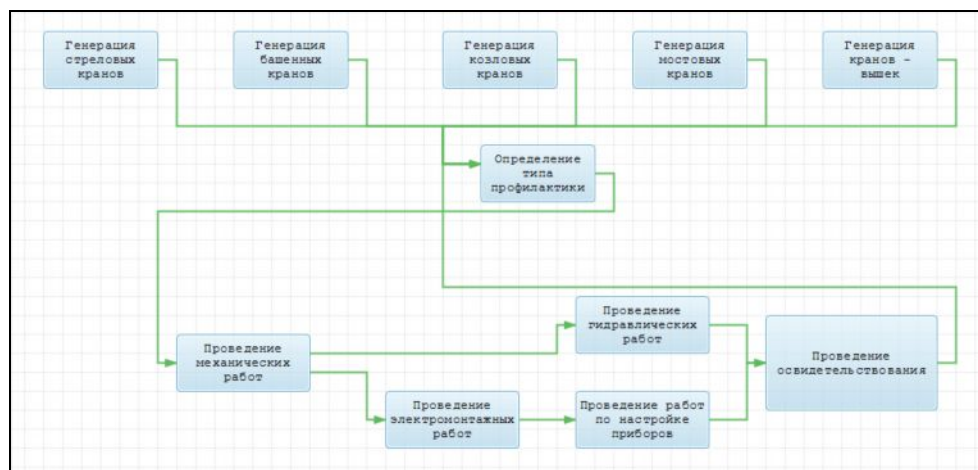


Рис. 3. Схема моделирования процесса профилактики

5. Постановка задачи построения уравнений регрессии требует, чтобы сумма квадратов отклонений экспериментальных значений от вычисленных по аппроксимирующей зависимости была минимальной. Кроме того, требуется, чтобы отношение стандартной ошибки к среднему значению не превышало 0,1; уровень

значимости по коэффициенту множественной детерминации, критерию Фишера для уравнения регрессии и уровни значимости по критерию Стьюдента для коэффициентов уравнения регрессии не превышало 0,05. Совокупность полученных уравнений регрессии представляет собой математическую модель процессов. Приведем уравнение множественной регрессии для переменной Y1:

$$y1 = -359672313 + 60435339 * x4 - 3487273 * x4x4 - 19252 * x7x7 - 4139 * x6x6 + 65439 * x2x7 + 136746 * x4x7 + 125789 * x4x6 + 94603 * x3x7 - 334530 * x3x3 - 7386 * x5x5 + 37378 * x1x5 \quad (3)$$

6. Для оптимизации выбран метод касательных (Ньютона), обеспечивающий нахождение максимального значения. Для реализации была использована имеющаяся в ППП Excel соответствующая процедура оптимизации. В результате были получены оптимальные значения факторов и значение результативного показателей эффективности Y1.

По результатам оптимизации был проведен регрессионный анализ с помощью программы Statistica.

6.1. Результатом является совокупность формул, характеризующих зависимость оптимизируемых факторов от факторов объективных.

$$x_{1opt} = -13,9660 + 0,0682 * x5 + 0,1322 * x6 + 0,0432 * x7 + 0,2160 * x8 + 0,2630 * x9 - 0,0005 * x5x5 - 0,0002 * x6 * x6 - 0,0002 * x7 * x7 - 0,0044 * x8 * x8 - 0,0044 * x9 * x9; \quad (4)$$

$$x_{2opt} = -0,16358 + 0,04500 * x5 + 0,09277 * x6 + 0,03169 * x7 + 0,15258 * x8 + 0,18199 * x9 - 0,00034 * x5x5 - 0,00012 * x6 * x6 - 0,00012 * x7 * x7 - 0,00308 * x8 * x8 - 0,00308 * x9 * x9; \quad (5)$$

$$x_{3opt} = -33,8174 + 0,0491 * x5 + 0,0733 * x6 + 0,4579 * x7 + 0,1610 * x8 + 0,2016 * x9 - 0,0003 * x5x5 - 0,0001 * x6 * x6 - 0,0015 * x7 * x7 - 0,0028 * x8 * x8 - 0,0028 * x9 * x9; \quad (6)$$

$$x_{4opt} = -11,5843 + 0,0142 * x5 + 0,1035 * x6 + 0,0351 * x7 + 0,2027 * x8 + 0,2356 * x9 - 0,0004 * x5x5 - 0,0001 * x6 * x6 - 0,0001 * x7 * x7 - 0,0032 * x8 * x8 - 0,0032 * x9 * x9; \quad (7)$$

Полученные формулы позволяют эффективно организовать работу по профилактике грузоподъемных машин.

В заключение отметим, что разработанная модель позволяет оценить необходимый количественный состав рабочих, задействованных на профилактике, в условиях постоянно меняющихся экономических и технических показателей (количество грузоподъемных машин различных типов) окружающей среды.

Литература

1. Александров, М.П. Подъемно-транспортные машины: учеб. для вузов. – М.: Высшая школа, 1985. – 520 с.
2. Девятков В.В., Власов С.А., Исаев Ф.В., Федотов М.В. Имитационные исследования с использованием GPSS WORLD – новые возможности // Автоматизация в промышленности. – 2012. – № 7. – С. 3–8.
3. Якимов И.М. Компьютерное моделирование: учеб. пособие. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2008. – 220 с