

УДК 621.86

КОМПЛЕКСНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРУЗОПОДЪЕМНОГО КРАНА

Гончаров К.А., Денисов И.А.

Брянский государственный технический университет (Брянск, Россия)

Предложен и обоснован критерий функциональной эффективности грузоподъемного крана в форме комплексной математической модели, включающей модель структурных взаимосвязей укрупненных сборочных единиц, общую для известных конструкций грузоподъемных кранов, модель математического описания функционального взаимодействия укрупненных сборочных единиц грузоподъемных кранов, методику расчета величин критерия функциональной эффективности. Сформулировано понятие функциональной эффективности. На примерах кранов различных типов показаны особенности формирования структурных взаимосвязей укрупненных сборочных единиц их конструкций, приведен пример синтеза соответствующих структурных формул, показано построение математической модели функционального взаимодействия укрупненных сборочных единиц внутри крана с семантической расшифровкой матрицы взаимодействия.

Ключевые слова: грузоподъемный кран, функциональная эффективность, структурная формула, матрица функционального взаимодействия, критерий функциональной эффективности.

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-04-389-399

Грузоподъемный кран является комплексной машиной, состоящей из нескольких взаимодействующих сборочных единиц металлических конструкций и механизмов, реализующих в совокупности функцию перемещения груза в пространстве в рамках обслуживаемой рабочей зоны.

Являясь одной из важнейших составляющих любой схемы комплексной механизации погрузочно-разгрузочных и транспортно-складских работ, грузоподъемные краны внутри сложившихся «видовых» семейств (мостовые, козловые, башенные и т.д.) могут конструктивно значительно различаться, выполняя при этом абсолютно идентичную работу. В современных экономических условиях выбор средств механизации подъемно-транспортных работ только по критерию величины капитальных затрат и затрат на эксплуатацию не является наилучшим. Все чаще в комплексе с указанными экономическими критериями используются экологические, эргономические, технические (надежность) критерии, при этом указанным экономическим критериям придается наименьший вес из перечисленных [1, 2].

В настоящей статье предлагается введение в использование, описание и обоснование критерия функциональной эффективности грузоподъемного крана в форме комплексной математической модели.

Под функциональной эффективностью будем понимать способность грузоподъемно-

го крана осуществлять полный комплекс требуемых от него операций максимально удобно с позиции управления в предельно короткие временные промежутки с одной стороны, а с другой – задействуя при этом минимально возможное число сборочных единиц (механизмов, элементов металлоконструкции), входящих в конструкцию крана, с учетом их внутреннего функционального взаимодействия. Поскольку управление краном производится воздействием оператора на его механизмы, то под удобством управления в данном случае при соблюдении всех необходимых эргономических условий работы оператора будем понимать стремление к уменьшению оператором числа задействованных механизмов при перемещении груза в случайную точку обслуживаемой краном рабочей зоны. Таким образом, предлагаемый критерий можно представить в виде выражения

$$K_{\text{фэ}} = \frac{F_{\text{ид}}(j)}{\sum_{i=1}^n \frac{t_i}{t_y} F_i(j)} \cdot 100, \% \quad (1)$$

где $F_i(j)$ – зависимость функционального взаимодействия механизмов и элементов металлоконструкции крана от j -го управляющего воздействия; $F_{\text{ид}}(j)$ – то же для условного «идеального» крана; t_i – временной промежуток, соответствующий управляющему воздействию; t_y – общее время цикла.

В целях нахождения значений функций $F_i(j)$ того или иного крана необходимо опре-

делить уровни и глубину взаимодействия друг с другом его механизмов и элементов металлоконструкции с учетом особенностей конфигурации крана. На начальном этапе для

решения данного вопроса предлагается ввести структурно-функциональную схему, общую для всех грузоподъемных кранов, на основе укрупненных сборочных единиц (рис. 1).

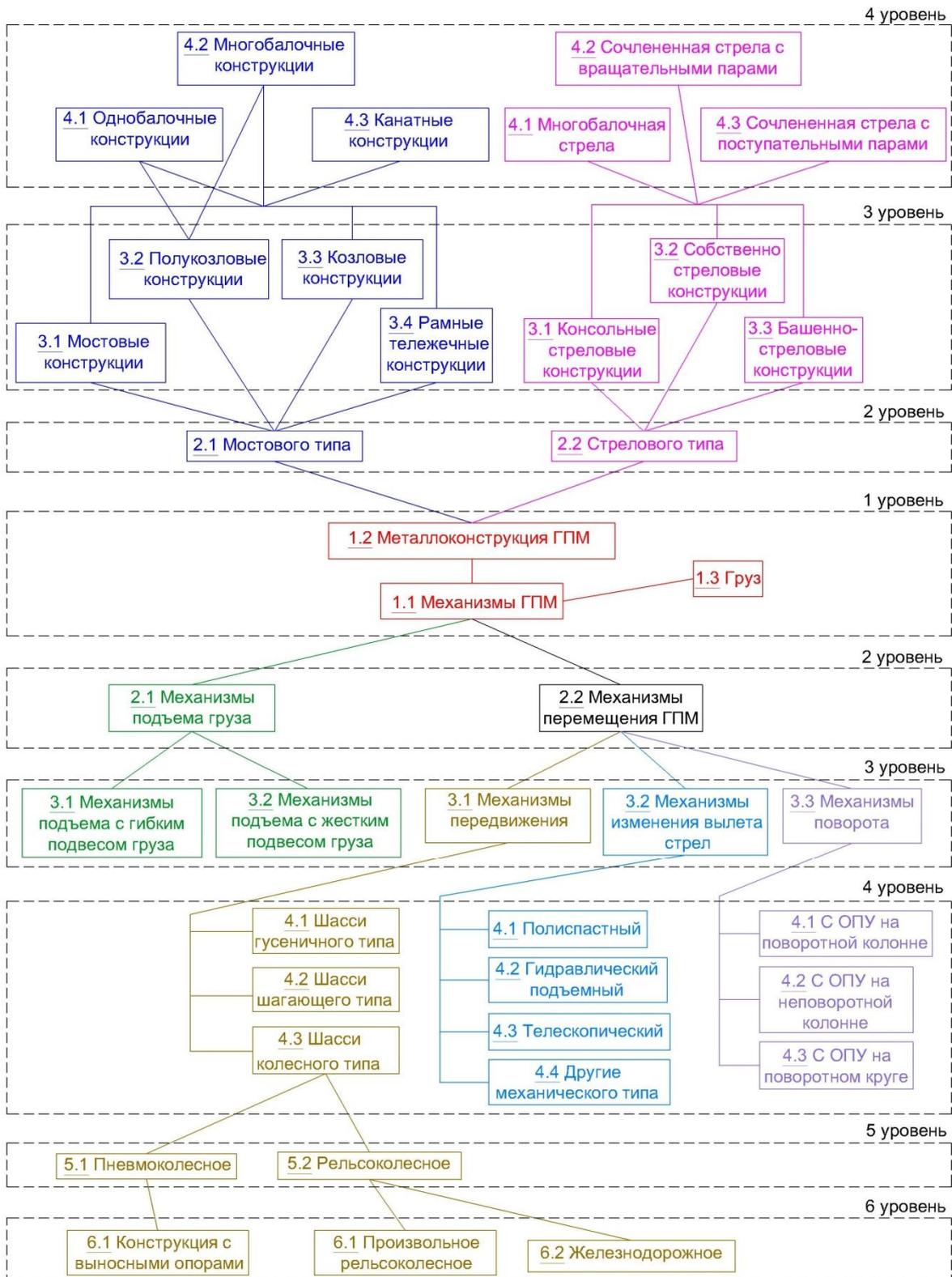


Рис. 1. Уровневая структурно-функциональная схема грузоподъемного крана

Базисом данной схемы служит функциональное взаимодействие трех основных элементов обобщенной подъемно-транспортной операции, осуществляемой грузоподъемным краном: металлоконструкции крана, механизмов крана, груза. Указанные три элемента далее разделяются по классификационным уровням, при этом взаимодействие в разных

сочетаниях финальных конфигураций трех базовых элементов на соответствующих уровнях формирует любую случайную структурную схему крана в укрупненных сборочных единицах. Нумерация ветвей схемы на том или ином уровне позволяет описывать кран структурной формулой вида

$$\left. \begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} \{i+2.j\} \\ \dots\dots\dots \\ \{i+k.j+n\} \end{array} \right\} \dots \leftarrow i+1.j \\ \left. \begin{array}{l} \{i+2.j\} \\ \dots\dots\dots \\ \{i+k.j+n\} \end{array} \right\} \dots \leftarrow i+1.j+1 \\ \dots\dots\dots \\ \left. \begin{array}{l} \{i+k.j\} \\ \dots\dots\dots \\ \{i+k.j+n\} \end{array} \right\} \dots \leftarrow i+1.j+n \end{array} \right\} \leftarrow i.j+1(\leftrightarrow)i.j \rightarrow \left. \begin{array}{l} i+1.j \rightarrow \dots \left. \begin{array}{l} \{i+2.j\} \\ \dots\dots\dots \\ \{i+k.j+n\} \end{array} \right\} \\ i+1.j+1 \rightarrow \dots \left. \begin{array}{l} \{i+2.j\} \\ \dots\dots\dots \\ \{i+k.j+n\} \end{array} \right\} \\ \dots\dots\dots \\ i+1.j+n \rightarrow \dots \left. \begin{array}{l} \{i+k.j\} \\ \dots\dots\dots \\ \{i+k.j+n\} \end{array} \right\} \end{array} \right\} , \quad (2)$$

где i – индекс первого уровня схемы, соответствующего трем основным элементам; j – индекс первого подуровня каждого уровня схемы; k – добавочный индекс последнего уровня для одного из трех основных элементов схемы; n – добавочный индекс последнего подуровня каждого уровня схемы.

Приведем несколько примеров построения структурных формул грузоподъемных кранов различных конструкций:

1. Портальный кран (рис. 2, а) с башенно-стреловой металлической конструкцией (со-

членённой стрелой с вращательными параметрами), установленной на портале в виде двухбалочного бесконсольного козлового крана. В конструкцию крана входит механизм подъема с гибким подвесом груза, реечный механизм изменения вылета стрелы, механизм передвижения крана для рельсоколёсного шасси с произвольным значением колеи, а также механизм поворота с опорно-поворотным устройством на поворотной колонне. Структурная формула имеет вид

$$\left. \begin{array}{l} 4.2 \leftarrow 3.3 \leftarrow 2.1 \\ 4.2 \leftarrow 3.3 \leftarrow 2.2 \end{array} \right\} \leftarrow 1.2(\leftrightarrow)1.1 \rightarrow \left. \begin{array}{l} 2.1 \rightarrow 3.1(\leftrightarrow)1.3 \\ 2.2 \rightarrow \begin{cases} 3.1 \rightarrow 4.3 \rightarrow 5.2 \rightarrow 6.1 \\ 3.2 \rightarrow 4.4 \\ 3.3 \rightarrow 4.1 \end{cases} \end{array} \right\} . \quad (3)$$

2. Кран-манипулятор (рис. 2, б), установленный на пневмоколёсном шасси автомобиля, в структуру которого входит сочлененная стрела с поступательными и вращательными параметрами, механизм подъема с гибким подвесом груза, гидравлический подъ-

емный и телескопический механизмы изменения вылета стрелы, механизм поворота с опорно-поворотным устройством на поворотном круге. Структурная формула имеет вид

$$\left. \begin{array}{l} 3.4 \leftarrow 2.1 \\ 4.2 \\ 4.3 \end{array} \right\} \leftarrow 3.2 \leftarrow 2.2 \left\} \leftarrow 1.2(\leftrightarrow)1.1 \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 2.1 \rightarrow 3.1(\leftrightarrow)1.3 \\ 2.2 \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 3.1 \rightarrow 4.3 \rightarrow 5.1 \rightarrow 6.1 \\ 3.2 \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 4.2 \\ 4.3 \end{array} \right. \\ 3.3 \rightarrow 4.3 \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (4)$$



а



б

Рис. 2. Конструкции грузоподъемных кранов: а – портальный кран; б – кран-манипулятор

3. Двухбалочный мостовой кран общего назначения, в конструкцию которого входит механизм подъема с гибким подвесом груза, механизмы передвижения грузовой тележки

и крана для рельсоколясного шасси с произвольным значением колеи. Структурная формула имеет вид

$$\left. \begin{array}{l} 4.2 \leftarrow 3.1 \\ 4.2 \leftarrow 3.4 \end{array} \right\} \leftarrow 2.1 \leftarrow 1.2 \leftrightarrow 1.1 \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 2.1 \rightarrow 3.1(\leftrightarrow)1.3 \\ 2.2 \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 3.1 \rightarrow 4.3 \rightarrow 5.2 \rightarrow 6.1. \\ 3.1 \rightarrow 4.3 \rightarrow 5.2 \rightarrow 6.1 \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (5)$$

Количество строк в структурной формуле, принадлежащих её левой и правой части, определяет число укрупненных сборочных единиц конструкции крана. К примеру, согласно структурной формуле (3) описанный портальный кран состоит из двух укрупненных сборочных единиц металлоконструкции и четырех укрупненных сборочных единиц механизмов.

В любом грузоподъемном кране описанные сборочные единицы в различной степени взаимодействуют между собой, определяя функциональные возможности крана. С учетом структурной формулы, уникальной для каждого типа крана, взаимодействие сборочных единиц друг с другом можно представить в виде матрицы следующего вида

	1-я сборочная единица механизмов крана	2-я сборочная единица механизмов крана	п-я сборочная единица механизмов крана	
Управляющее воздействие на механизм	y_{y1}	y_{y2}	...	y_{yi}), (6)
1-я сборочная единица металлоконструкции	x_{11}	x_{12}	...	x_{1i}	
2-я сборочная единица металлоконструкции	x_{21}	x_{22}	...	x_{2i}	
.....	
п-я сборочная единица металлоконструкции	x_{n1}	x_{n2}	...	x_{ni}	
1-я сборочная единица механизмов крана	z_{11}	z_{12}	...	z_{1i}	
2-я сборочная единица механизмов крана	z_{21}	z_{22}	...	z_{2i}	
.....	
i-я сборочная единица механизмов крана	z_{i1}	z_{i1}	...	z_{ii}	

где y_{yi} – уровень управляющего воздействия на i -й механизм; x_{ni} – уровень взаимодействия i -го механизма и n -го элемента металлоконструкции крана; z_{ii} – уровень взаимодействия механизмов крана.

Характерные для работы грузоподъемных кранов логические уровни управляющего воздействия на механизмы, а также уровни взаимодействия механизмов с элементами

металлоконструкций и друг с другом представлены в табл. 1.

С учетом данных табл. 1 приведем пример составления матрицы взаимодействия укрупненных сборочных единиц портального грузоподъемного крана (структурная формула (3)). Матрица взаимодействия элементов выглядит следующим образом

	№1	№2	№3	№4	
Управляющее воздействие	y_{y1}	y_{y2}	y_{y3}	y_{y4}), (7)
1.2→2.1→3.3→4.2	$y_{y1} + 4$	$y_{y2} + 1$	$y_{y3} + 4$	$y_{y4} + 3$	
1.2→2.2→3.3→4.2	$y_{y1} + 3$	$y_{y2} + 2$	$y_{y3} + 1$	$y_{y4} + 1$	
№1 1.1→2.1→3.1	0	$y_{y2} + 2$	$y_{y3} + 2$	$y_{y4} + 2$	
№2 1.1→2.2→3.1→4.3→5.2→6.1	$y_{y1} + 1$	0	$y_{y3} + 1$	$y_{y4} + 1$	
№3 1.1→2.2→3.2→4.4	$y_{y1} + 1$	$y_{y2} + 2$	0	$y_{y4} + 2$	
№4 1.1→2.2→3.3→4.1	$y_{y1} + 1$	$y_{y2} + 2$	$y_{y3} + 1$	0	

Таблица 1

Уровни управляющего воздействия на механизмы и уровни взаимодействия механизмов и элементов металлоконструкции крана

Уровни управляющего воздействия на механизмы y_{yi}	$y_{yi} = 0$ – механизм выключен	
	$y_{yi} = 1$ – механизм включен, кран перемещает груз	
	$y_{yi} = 2$ – механизм включен, кран не перемещает груз	
Уровни взаимодействия i -го механизма и n -го элемента металлоконструкции крана $x_{ni} = y_{yi} + N_{mk}$	Механизм активно взаимодействует с элементом металлоконструкции (перемещает его)	$N_{mk} = 1$ – механизм непосредственно перемещает элемент металлоконструкции крана;
		$N_{mk} = 2$ – механизм опосредованно перемещает элемент металлоконструкции крана (механизм передвижения крана вместе с краном перемещает грузовую тележку и т.п.);
	Механизм пассивно взаимодействует с элементом металлоконструкции (опирается на него)	$N_{mk} = 3$ – механизм непосредственно опирается на элемент металлоконструкции крана;
		$N_{mk} = 4$ – механизм опосредованно опирается на элемент металлоконструкции крана (механизм подъема груза через металлоконструкцию тележки опосредованно опирается на мост крана);
Уровни взаимодействия механизмов крана $z_{ii} = y_{yi} + N_{mex}$	$N_{mex} = 1$ – механизм при работе не взаимодействует с другими механизмами;	
	$N_{mex} = 2$ – механизм при работе опосредованно взаимодействует с другими механизмами (перемещает другой механизм вместе с элементами металлоконструкции и грузом);	
	$N_{mex} = 3$ – механизм при работе непосредственно взаимодействует с другими механизмами (механизмы подъема груза с дифференциальными полиспастами, полиспастные механизмы изменения вылета подъемных стрел и т.п.);	

Семантический перевод матрицы (7) можно представить в виде

Уровень управляющего воздействия на механизм подъема груза	Уровень управляющего воздействия на механизм передвижения крана	Уровень управляющего воздействия на механизм изменения вылета стрелы	Уровень управляющего воздействия на механизм поворота крана
Механизм подъема опосредованно опирается на портал крана $N_{mk} = 4$	Механизм передвижения непосредственно перемещает портал крана $N_{mk} = 1$	Механизм изменения вылета стрелы опосредованно опирается на портал крана $N_{mk} = 4$	Механизм поворота непосредственно опирается на портал крана $N_{mk} = 3$
Элементы механизма подъема непосредственно опираются на башенно-стреловое оборудование крана $N_{mk} = 3$	Механизм передвижения опосредованно перемещает башенно-стреловое оборудование крана $N_{mk} = 2$	Механизм изменения вылета стрелы непосредственно перемещает стрелу башенно-стрелового оборудования крана $N_{mk} = 1$	Механизм поворота непосредственно перемещает башенно-стреловое оборудование крана $N_{mk} = 1$
-	Механизм передвижения при включении опосредованно перемещает механизм подъема $N_{mex} = 2$	Механизм изменения вылета стрелы при включении опосредованно вместе со стрелой перемещает элементы механизма подъема $N_{mex} = 2$	Механизм поворота при включении опосредованно вместе с башенно-стреловым оборудованием перемещает элементы механизма подъема $N_{mex} = 2$
Механизм подъема при включении не взаимодействует с механизмом передвижения крана $N_{mex} = 1$	-	Механизм изменения вылета стрелы при включении не взаимодействует с механизмом передвижения крана $N_{mex} = 1$	Механизм поворота при включении не взаимодействует с механизмом передвижения крана $N_{mex} = 1$
Механизм подъема при включении не взаимодействует с механизмом изменения вылета стрелы $N_{mex} = 1$	Механизм передвижения при включении опосредованно перемещает механизм изменения вылета стрелы $N_{mex} = 2$	-	Механизм поворота при включении опосредованно вместе с башенно-стреловым оборудованием перемещает элементы механизма изменения вылета стрелы $N_{mex} = 2$
Механизм подъема при включении не взаимодействует с механизмом поворота крана $N_{mex} = 1$	Механизм передвижения при включении опосредованно перемещает механизм поворота крана $N_{mex} = 2$	Механизм изменения вылета стрелы при включении не взаимодействует с механизмом поворота крана $N_{mex} = 1$	-

Функция $F_i(j)$ представляет собой сумму всех элементов какого-либо столбца матрицы взаимодействия при подстановке значений уровня управляющего воздействия на i -й механизм без учета первой строки. Физический смысл функции $F_i(j)$ – уровень комплексного взаимодействия какого-либо ме-

ханизма крана с укрупненными сборочными единицами крана, включающими элементы металлоконструкции и другие механизмы. Для механизма подъема порталного крана согласно матрице (7) функция $F_i(j)$ при перемещении груза примет значение $F_1(j) = 15$, при работе механизма без груза $F_1(j) = 20$.

В качестве эталона функционального взаимодействия введем понятие «идеально-го» с позиции функциональной эффективности крана, состоящего из двух укрупненных сборочных единиц – механизма подъема груза и стационарного элемента металлоконструкции крана, на который непосредственно опирается механизм подъема. При работе «идеального» крана с грузом функция $F_{uo}(j) = 4$, без груза – $F_{uo}(j) = 5$.

Так как в общем виде цикл работы крана включает промежутки работы механизмов

как с грузом, так и без груза, то в общем случае при расчете уровня функциональной эффективности крана целесообразно принимать $F_{uo}(j) = 4,5$.

Рассмотрим пример расчета критерия функциональной эффективности при перемещении груза на примере портального крана с матрицей взаимодействия элементов (7) и мостового крана с матрицей взаимодействия элементов (8). Начальное и конечное положения груза для всех случаев идентичны.

	№1	№2(т)	№3(к)
Управляющее воздействие	y_{y1}	y_{y2}	y_{y3}
1.2→2.1→3.1→4.2	$y_{y1} + 4$	$y_{y2} + 4$	$y_{y3} + 1$
1.2→2.1→3.4→4.2	$y_{y1} + 3$	$y_{y2} + 1$	$y_{y3} + 2$
№1 1.1→2.1→3.1	0	$y_{y2} + 2$	$y_{y3} + 2$
№2(т) 1.1→2.2→3.1→4.3→5.2→6.1	$y_{y1} + 1$	0	$y_{y3} + 2$
№3(к) 1.1→2.2→3.1→4.3→5.2→6.1	$y_{y1} + 1$	$y_{y2} + 1$	0

(8)

Схемы движения кранов и последовательности работы механизмов представлены на рис. 3.

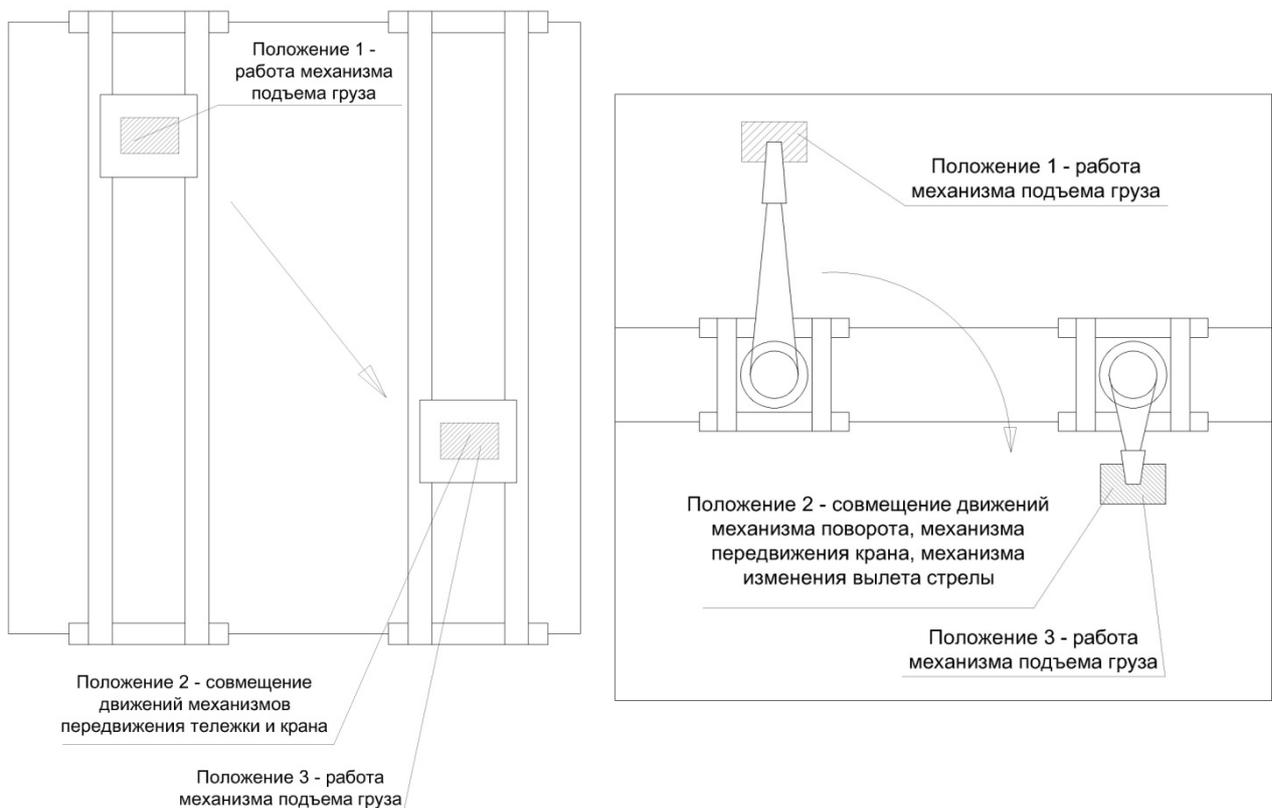


Рис. 3. Схемы перемещения груза грузоподъемными кранами: а – мостовым краном; б – портальным краном

В качестве начальных условий, для наглядности примера, примем одинаковым время подъема груза на определенную высоту и его опускания $t_1 = t_3 = 10$ с. Каждый из кранов при перемещении груза проводит по одному временному отрезку совмещения работы механизмов. Продолжительность данного периода также примем одинаковой для двух кранов $t_2 = 15$ с с условием полного включения (равномерной работы) каждого из механизмов в течение указанного отрезка времени. Следует уточнить, что порталный

кран за указанный период совмещает движение трех механизмов (т.е. каждый из механизмов включен в течение 15 с), а мостовой кран – только двух, каждый из которых также включен в течение 15 с. Уровень управляющего воздействия на механизмы $y_{yi} = 1$, т.к. краны не работают без груза согласно начальным условиям.

Величина критерия функциональной эффективности порталного крана для указанных условий

$$K_{\phi_3} = \frac{F_{uo}(j)}{\sum_{i=1}^n \frac{t_i}{t_u} F_i(j)} \cdot 100 = \frac{F_{uo}(j)}{\frac{t_1}{3} F_1 + \frac{t_2}{3} F_2 + \frac{t_2}{3} F_3 + \frac{t_2}{3} F_4 + \frac{t_3}{3} F_1} \cdot 100 = 14,2 \%$$

Величина критерия функциональной эффективности мостового крана для указанных условий

$$K_{\phi_3} = \frac{F_{uo}(j)}{\sum_{i=1}^n \frac{t_i}{t_u} F_i(j)} \cdot 100 = \frac{F_{uo}(j)}{\frac{t_1}{3} F_1 + \frac{t_2}{3} F_2 + \frac{t_2}{3} F_3 + \frac{t_3}{3} F_1} \cdot 100 = 21,8 \%$$

Функциональная эффективность мостового крана при осуществлении предложенной подъемно-транспортной операции выше эффективности порталного крана. При одинаковых временных параметрах цикла мостовой кран задействует меньшее число механизмов. Если при работе порталного крана не использовать один из механизмов в момент совмещения движений (к примеру, механизм изменения вылета стрелы), его функциональная эффективность повысится до значения $K_{\phi_3} = 18,3$ %. При этом данное значение не достигает показателя мостового крана, т.к. при одинаковом количестве управляющих воздействий и времени осуществления цикла неиспользуемый механизм изменения вылета стрелы продолжает пассивно взаимодействовать с другими элементами внутри конструкции порталного крана, являясь для неё в данной конкретной ситуации атавизмом.

Предложенный критерий функциональной эффективности, как показано в примере, учитывает положительный эффект от сов-

мещения движений крана (уменьшается общее время цикла при сохранении значений функций взаимодействия элементов).

Предложенная в настоящей статье комплексная математическая модель функциональной эффективности грузоподъемного крана предполагает дальнейшее развитие в следующих направлениях:

1. Разработка ряда математических моделей функционального взаимодействия составляющих элементов внутри механизмов грузоподъемных кранов с их дальнейшей интеграцией в описанную систему. Проведение такой работы позволит в значительной степени повысить точность определения функциональной эффективности грузоподъемного крана не просто на уровне укрупненных сборочных единиц, но и на уровнях внутренних сборочных единиц механизмов вплоть до детализирования последних.

2. Разработка методологии решения обратной задачи функциональной эффективности – создание алгоритмов поиска наилучших конструкторских решений на всех уров-

нях сборочных единиц вплоть до разработки принципиально новых «видовых» решений грузоподъемных кранов по задаваемой величине функциональной эффективности. Предложенная на рис. 2 уровневая структурно-функциональная схема грузоподъемного крана является достаточно гибкой с широкими возможностями внесения новых конструктивных решений на различных уровнях взаимодействия. Создание подобной методологии по факту приведет к разработке принципиально нового метода проектирования грузоподъемных машин в целом на основе оптимизации их структурного анализа и синтеза.

3. Как следствие первых двух направлений развития – уточнение положения критерия функциональной эффективности грузоподъемного крана среди других критериев эффективности при проектировании подъемно-транспортной техники, его интеграция в различные комплексы критериев, а также определение уровней его веса в различных проектных ситуациях.

4. Введение в комплексную математическую модель функциональной эффективности и обоснование дополнительных уровней функционального взаимодействия грузоподъемных кранов с элементами строительных конструкций и другими технологическими объектами в зависимости от условий их эксплуатации.

Общая цель четырех приведенных выше направлений дальнейших исследований – развитие научных основ проектирования эффективных подъемно-транспортных операций с применением грузоподъемных кранов.

Список литературы

1. Келлер, К. Проектирование и реализация транспортного соединения 40.10 / К. Келлер, Ш. Хупперт, Р. Флорек // Глюкауф. – 2004. – №3. – С. 6-16.

2. Гончаров, К.А. Обоснование методики выбора рациональных вариантов систем приводов ленточных конвейеров на основе метода анализа иерархий / К.А. Гончаров // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. - 2016. – №2. – С. 66-70.

Об авторах

Гончаров Кирилл Александрович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Подъемно-транспортные машины и оборудование» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», ptm_bstu@mail.ru.

Денисов Илья Александрович – аспирант кафедры «Подъемно-транспортные машины и оборудование» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», ilia.denisow@yandex.ru.

A UNIFIED MATHEMATICAL MODEL OF FUNCTIONAL EFFICIENCY OF A HOISTING CRANE

Goncharov K.A., Denisov I.A.

Bryansk State Technical University (Bryansk, Russian Federation)

There was suggested and validated the criterion of functional efficiency of a hoisting crane in the form of a unified mathematical model. This model includes the model of structural interrelationships of large assembly units which is general for the known hoisting crane constructions; the model of the mathematical formulation of functional interrelationships of hoisting crane large assembly units; the design procedure of values of functional efficiency criterion. The concept of functional efficiency is formulated. Based on the examples of cranes of different types, there were shown the formation features of structural interrelationships of large assembly units of crane constructions; the example of synthesis of the corresponding structural formulas is provided; the building of the mathematical model of functional interaction of large assembly units inside the crane is shown; the matrix of interaction is semantically decoded.

Key words: hoisting crane; functional efficiency; structural formula; matrix of functional interaction; criterion of functional efficiency.

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-04-389-399

References

1. Keller K., Huppert S., Florek R. Proektirovaniye i realizaciya transportnogo soedineniya 40.10. *Glueckauf*, 2004, No.3, pp. 6-16.

2. Goncharov K.A. Substantiation of selection method of preferred alternative of belt conveyor drive systems on the basis of the analytic hierarchy process. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No.2, pp. 31-37. (In Russian)

Authors' information

Kirill A. Goncharov – PhD in Technical Sciences, associate Professor, Head of the Department "Handling machinery and equipment" at Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia, ptm_bstu@mail.ru.

Iliya A. Denisov – postgraduate student of the Department "Handling machinery and equipment" at Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia, ilia.denisow@yandex.ru.

Дата принятия к публикации
(Date of acceptance for publication)
20.11.2017

Дата публикации
(Date of publication):
25.12.2017

