

УДК (UDC) 621.86

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА
МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ГРУЗОВЫХ ТЕЛЕЖЕК КРАНОВ МОСТОВОГО ТИПА
НА ОСНОВЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ КОМПОНОВОЧНЫХ СХЕМMATHEMATICAL MODELS OF STRUCTURAL AND PARAMETRIC SYNTHESIS
OF LOAD TROLLEY METALWARE OF BRIDGE CRANES ON BASIS OF
MULTIPURPOSE LAYOUT DRAWINGГончаров К.А., Денисов И.А.
Goncharov K.A., Denisov I.A.Брянский государственный технический университет (Брянск, Россия)
Bryansk State Technical University (Bryansk, Russian Federation)

Аннотация. Предложены математические модели структурно-параметрического синтеза металлоконструкций грузовых тележек кранов мостового типа на основе универсальной компоновочной схемы, основанные на матричном представлении структур сегментов металлоконструкции. Рассмотрены варианты применения структурных матриц элементов и матриц параметров при проведении проектных расчётов в рамках разработанных математических моделей с целью подтверждения несущей способности металлоконструкции с учетом требований нормативно-технической документации. С использованием структурных матриц отдельных сегментов и матриц взаимных соединений сегментов сформированы базовые архитектуры математических моделей структурно-параметрического синтеза металлоконструкций. Показана общая структура разработанных математических моделей, а также приведено описание функционального назначения отдельных групп матриц различных расчётных блоков.

Ключевые слова: мостовой кран, грузовая тележка, математическая модель, универсальная компоновочная схема, структурная матрица, матрица параметров.

Дата принятия к публикации: 14.02.2019
Дата публикации: 25.03.2019

Сведения об авторах:

Гончаров Кирилл Александрович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Подъемно-транспортные машины и оборудование» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», e-mail: ptm_bstu@mail.ru.
ORCID: 0000-0002-5895-1162

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

Abstract. The mathematical models of the structural and parametric synthesis of the load trolley metalware of bridge cranes on the basis of the multipurpose layout drawing are suggested. The models are based on the matrix representation of the metalware segment structures. The article considers the options for implementation of the structural matrixes of the elements and parameter matrixes when performing design calculations as a part of the developed mathematical models. The purpose of the calculations is to confirm the bearing capacity of the metalware, taking into account the requirements of the regulations and specifications. The basic structures of the mathematical models of the structural and parametric synthesis of the metalware are formed, using the structural matrixes of the separate elements and matrixes of the element interconnection. The general structure of the developed mathematical models is shown, and the description of the functionality of the separate matrix groups of the different calculation modules is given.

Keywords: bridge crane, load trolley, mathematical model, multipurpose layout drawing, structural matrix, parameter matrix.

Date of acceptance for publication: 14.02.2019
Date of publication: 25.03.2019

Authors' information:

Kirill A. Goncharov – PhD in Technical Sciences, associate Professor, head of the Department "Handling machinery and equipment" at Bryansk State Technical University, e-mail: ptm_bstu@mail.ru.
ORCID: 0000-0002-5895-1162

Ilya A. Denisov – postgraduate student, assistant of the Department "Handling machinery and equipment" at Bryansk State Technical University,
e-mail: ilia.denisow@yandex.ru.

1. Введение

Проектирование грузовой тележки представляет собой сложный процесс, включающий в себя взаимосвязанные этапы разработки механизмов различного назначения и несущей металлоконструкции, воспринимающей внешние нагрузки в процессе работы грузоподъемной машины. Причем, если процесс проектирования механизмов описан весьма подробно, то вопросу компоновки несущей металлоконструкции уделено недостаточное внимание как в нормативной [1], так и в научной и методической литературе [2, 3]. Определение количества и взаимного расположения отдельных несущих элементов металлоконструкции грузовой тележки производится исходя из относительно «расплывчатых» рекомендаций в области проектных действий. Полученная таким образом конструкция является результатом череды индивидуальных технических решений конкретного специалиста или группы специалистов, принятых в соответствии с общими рекомендациями и ограничениями, призванными обеспечить надёжную и безопасную работу грузовой тележки.

Результатом применения таких подходов в настоящее время является эксплуатация большого количества модификаций грузовых тележек, металлоконструкции которых крайне сложно систематизировать и выделить их наиболее рациональные схемы компоновки, что дополнительно создаёт проблемы при реконструкции тележек, а также при их проектировании. Стоит также отметить, что описанные выше подходы к проектированию приводят к значительному увеличению массы несущей металлоконструкции, и, как следствие, стоимости грузовых тележек.

В работах [4-6] были предложены универсальные компоновочные схемы металлоконструкций грузовых тележек крана мостового типа комплексной (УКСКК) и модульной (УКСМК) конфигураций, позволяющие предложить и реализовать единый принцип их проектирования при широком разнообразии вариантов применения. Стоит отметить, что в основе любого проектного подхода к

созданию машин и их элементов лежит структурно-параметрический синтез, математическое описание которого в дальнейшем является базой для создания проектных методов.

2. Постановка задачи

Целью настоящей работы является создание математических моделей структурно-параметрического синтеза несущих металлоконструкций грузовых тележек кранов мостового типа общего назначения на основе универсальных компоновочных схем комплексной и модульной конфигурации. Разрабатываемые математические модели должны учитывать нормативные требования к проектированию металлоконструкций грузоподъемных машин в области обеспечения их прочности, жесткости, устойчивости и выносливости, особенности компоновки механизмов, расположенных на тележке, характер взаимосвязи отдельных сегментов модульной металлоконструкции.

3. Теоретические исследования

Вне зависимости от типа применяемой схемы металлоконструкции в рамках предлагаемых структурных моделей хордовые элементы разделяют каждый сегмент на несколько уровней (рис. 1). Каждому из 4-х сегментов присваивается номер, соответствующий номеру расположенного слева главного элемента, отсчёт которых начинается от базовой нижней левой вершины 1 против часовой стрелки. Каждый элемент обозначается соответствующей буквой с индексами, указывающими на конкретное расположение элемента. Так, хордовый элемент обозначается как $H_{i,j}$ радиальный – $R_{i,j,k}$. Буквы индекса соответствуют: i – номеру сегмента, в котором располагается элемент, j – номеру уровня к которому относится элемент, k – номеру радиального элемента, который отсчитывается в соответствующих сегментах слева-направо и против часовой стрелки вокруг геометрического центра тележки. Конструктивно отдельный радиальный элемент может соединять хордовые элементы, отно-

сящиеся к двум разным уровням. Условно относить к дальнему от центра уровню из примем, что радиальный элемент следует двух возможных.

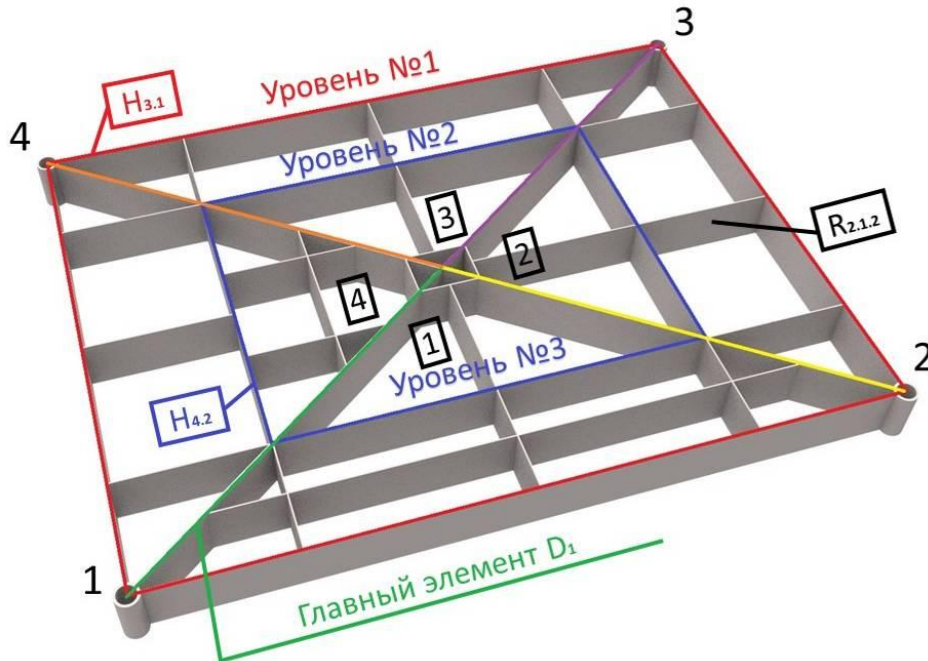


Рис. 1. Структурная модель металлоконструкции тележки на основе универсальной компоновочной схемы

К примеру, указанный на рис. 1 радиальный элемент $R_{2.1.2}$ находится во 2-м сегменте, принадлежит 1-му структурному уровню хордовых элементов и занимает 2-е место среди радиальных элементов соответствующего сегмента и уровня при отсчёте против часовой стрелки вокруг центра тележки. Аналогично хордовый элемент $H_{4.2}$ располагается в 4-м сегменте и относится ко 2-му структурному уровню. Главные несущие элементы обозначаются по номеру принадлежащей им вершины образованного прямо-

угольника D_i , например, D_1 (выделен зелёным цветом) (рис. 1), D_2 (выделен жёлтым цветом). В качестве главного принимается несущий элемент длиной, соответствующей расстоянию от вершины прямоугольника до его центральной точки O .

Общую структуру и параметры элементов тележки можно записать в матричном виде, раскрывая компоновку каждого отдельного сегмента металлоконструкции. В общем виде матрица i -го сегмента записывается следующим образом

$$\Delta_i = \left(\begin{array}{c|cccccccc} D_i & H_{i,j} & R_{i,j,k} & R_{i,j,k+1} & R_{i,j,k+2} & R_{i,j,k+3} & R_{i,j,k+4} & \dots & R_{i,j,k+m} \\ 0 & H_{i,j+1} & 0 & R_{i,j+1,k} & R_{i,j+1,k+1} & R_{i,j+1,k+2} & \dots & R_{i,j+1,k+m} & 0 \\ 0 & H_{i,j+n} & 0 & 0 & R_{i,j+n,k} & \dots & R_{i,j+n,k+m} & 0 & 0 \end{array} \right). \quad (1)$$

Применяя данный способ, металлоконструкцию, показанную на рис. 1, можно

описать следующей совокупностью структурных матриц

$$\Delta_1 = \left(\begin{array}{c|ccc} D_1 & H_{1.1} & R_{1.1.1} & R_{1.1.2} & R_{1.1.3} \\ 0 & H_{1.2} & R_{1.2.1} & R_{1.2.2} & R_{1.2.3} \\ 0 & H_{1.3} & 0 & R_{1.3.1} & 0 \end{array} \right); \quad \Delta_2 = \left(\begin{array}{c|ccc} D_2 & H_{2.1} & R_{2.1.1} & R_{2.1.2} & R_{2.1.3} \\ 0 & H_{2.2} & 0 & R_{2.2.1} & 0 \end{array} \right);$$

$$\Delta_3 = \left(\begin{array}{c|ccc} D_3 & H_{3.1} & R_{3.1.1} & R_{3.1.2} & R_{3.1.3} \\ 0 & H_{3.2} & 0 & R_{3.2.1} & 0 \end{array} \right); \quad \Delta_4 = \left(\begin{array}{c|cccc} D_4 & H_{4.1} & R_{4.1.1} & 0 & R_{4.1.2} & 0 & R_{4.1.3} \\ 0 & H_{4.2} & 0 & R_{4.2.1} & 0 & R_{4.2.2} & 0 \\ 0 & H_{4.3} & 0 & R_{4.3.1} & 0 & R_{4.3.2} & 0 \end{array} \right).$$

При записи структурных матриц следует соблюдать следующие правила:

1. Количество строк матрицы для i -го сегмента соответствует числу его уровней $j+n$.

2. В первом блоке матрицы сегмента записывается обозначение главного элемента, второй и третий блок матрицы содержат информацию о хордовых и радиальных элементах соответственно.

3. Положение отдельного элемента матрицы в третьем блоке задается с учетом расположения соответствующего ему элемента металлоконструкции в рамках рассматриваемого сегмента. Так радиальный элемент $R_{1,3,1}$ 3-го уровня 1-го сегмента металлоконструкции (рис. 1) записывается не в 1-м, а во 2-м столбце соответствующего блока матрицы под радиальным элементом $R_{1,2,2}$, так как в рамках описываемой металлоконструкции указанные радиальные элементы располагаются на одной оси.

4. В предложенной структурной схеме металлоконструкции на каждом последующем уровне могут присутствовать радиальные элементы, оси которых не совпадают с осями радиальных элементов предыдущих уровней (сектор 4 на рис. 1). В этом случае в ходе записи третьего блока матрицы каждый несоосный радиальный элемент следующего уровня записывают на соответствующей строке в специально добавленном под него столбце, при этом отсутствие соосных ему радиальных элементов на предыдущих уровнях обозначают цифрой 0 в соответствующих ячейках добавленного столбца. Так в приведенном примере 1-й радиальный элемент $R_{4,2,1}$ 2-го уровня 4-го сегмента в плане располагается между осевыми линиями 1-го $R_{4,1,1}$ и 2-го $R_{4,1,2}$ радиального элемента 1-го уровня этого же сегмента и записывается во втором столбце третьего блока матрицы. Соответственно в ячейку первой строки второго столбца записывается цифра 0, обозначающая отсутствие соосного элемента на предыдущем уровне.

5. Ячейки прямоугольной матрицы, оставшиеся пустыми, так же принимают нулевые значения.

В случае использования модульной металлоконструкции в первый блок матрицы заносятся условные обозначения образующих элементов отдельного сегмента $O_{i,l}$ и $O_{i,m}$, которые соединяются с центральным звеном и формируют несущий контур модульной тележки при его отсутствии. Для описания разъёмных соединений сегментов вводятся матрицы вида:

$$B = \begin{pmatrix} B_{1-2}^1(x) \cdot B_{1-2}^m(x) \\ B_{2-3}^1(x) \cdot B_{2-3}^m(x) \\ B_{3-4}^1(x) \cdot B_{3-4}^m(x) \\ B_{4-1}^1(x) \cdot B_{4-1}^m(x) \end{pmatrix} \quad (2)$$

Число строк матрицы соответствует числу плоскостей сопряжения 4-х модулей металлоконструкции тележки. Буквой m обозначается количество разъёмных соединений на одной плоскости сопряжения двух соседних модулей. Под разъёмным соединением понимаются совокупности близко расположенных друг к другу соединяющих элементов (болтов, осей). При этом принимается, что в рамках одного разъёмного соединения применяются однотипные соединяющие элементы с одинаковыми параметрами. В скобках после обозначения разъёмного соединения записывается координата его центра тяжести x , отсчитываемая вдоль поверхности соединения от внешнего контура к центру металлоконструкции.

Структурная матрица служит основой для формирования целого ряда матриц параметров, описывающих геометрию металлоконструкции, параметры накладываемых сварных швов, нагруженность и напряжённо-деформированное состояние элементов сегмента, характеристики применяемых материалов. Для получения матрицы параметров необходимо заменить условное обозначение элемента в структурной матрице на числовое значение соответствующего параметра. К примеру, матрица толщин $b_{\Delta l}$ элементов 1-го сегмента (рис. 1) выглядит следующим образом

$$b_{\Delta l} = \begin{pmatrix} b_1 | b_{1,1} & b_{1,1,1} & b_{1,1,2} & b_{1,1,3} \\ 0 | b_{1,2} & b_{1,2,1} & b_{1,2,2} & b_{1,2,3} \\ 0 | b_{1,3} & 0 & b_{1,3,1} & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 8 | 8 & 4 & 6 & 4 \\ 0 | 6 & 4 & 6 & 4 \\ 0 | 6 & 0 & 6 & 0 \end{pmatrix}$$

Согласно матрице $b_{\Delta l}$ толщина главного элемента D_1 , а также хорды первого уровня указанного сегмента $H_{1,1}$ равна 8 мм, толщина хорд $H_{1,2}$, $H_{1,3}$ остальных уровней, а также

радиальных элементов $R_{1.1.2}$, $R_{1.2.2}$, $R_{1.3.1}$ составляет 6 мм, радиальные элементы $R_{1.1.1}$, $R_{1.2.1}$, $R_{1.1.3}$, $R_{1.2.3}$ имеют толщину 4 мм.

Подобная форма записи данных позволяет при проведении проектных расчётов в качестве составляющих формул использовать не конкретные значения, а матрицы параметров, представляя процесс расчёта и полученные результаты в наиболее наглядном виде. В случае изготовления несущих элементов металлоконструкции из пластин листового металла прямоугольного сечения матрицу площадей поперечных сечений этих элементов можно получить простым перемножением соответствующих ячеек матриц толщин b_{di} и высот b_{di} рассматриваемого сегмента.

Необходимые проектные расчёты производятся с помощью математических действий над данными, записанными в сходных ячейках различных матриц параметров, описывающих один и тот же элемент рассматриваемого сегмента металлоконструкции, на что указывает знак « \langle » над оператором. В частности, с применением матриц могут быть произведены расчёты для подтверждения

прочности, упругой устойчивости и сопротивления усталости элементов и соединений металлоконструкции на основе универсальной компоновочной схемы согласно требованиям [1].

Математическая модель структурно-параметрического синтеза несущей металлоконструкции грузовой тележки крана мостового типа общего назначения **на основе УКСКК** включает в свою структуру четыре взаимосвязанные структурные матрицы (1) (и формируемые в дальнейшем на их основе матрицы параметров), соответствующие четырём сегментам металлоконструкции тележки. Совместно структурные матрицы образуют базовую архитектуру математической модели структурно-параметрического синтеза металлоконструкции на основе УКСКК (рис. 2), которая показывает, что отдельные сегменты, описанные с помощью структурных матриц, взаимодействуют между собой через главные диагональные элементы, синтез параметров которых производится взаимодействием структурных и параметрических матриц всех четырёх сегментов.

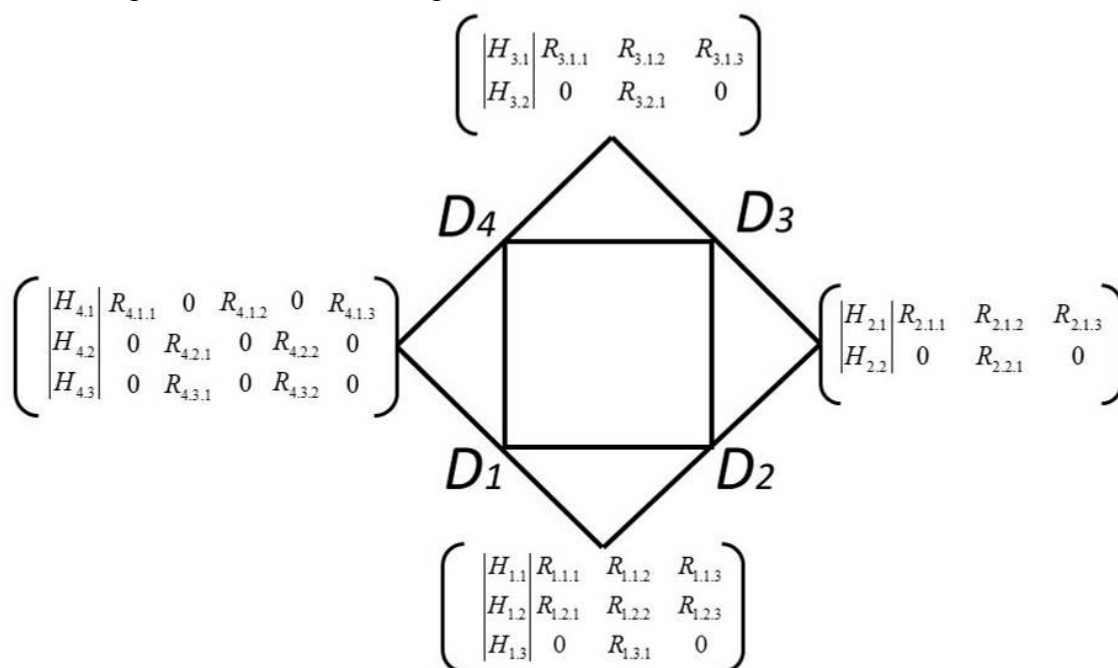


Рис. 2. Базовая архитектура математической модели структурно-параметрического синтеза металлоконструкции на основе УКСКК

Математическая модель структурно-параметрического синтеза несущей металлоконструкции грузовой тележки крана мостового

типа общего назначения **на основе УКСМК** оперирует отдельными структурными матрицами модулей (1), образующих её

базовую архитектуру (рис. 3), которые могут как взаимодействовать между собой через соответствующие структурные матрицы соединений (2), так и рассматриваться отдельно при формировании матриц параметров. В данном случае отсутствует жесткая привязка

к диагональным несущим элементам, в связи с чем, отдельные модули тележки могут иметь отличную друг от друга итоговую конфигурацию при соблюдении геометрических условий соединения друг с другом.

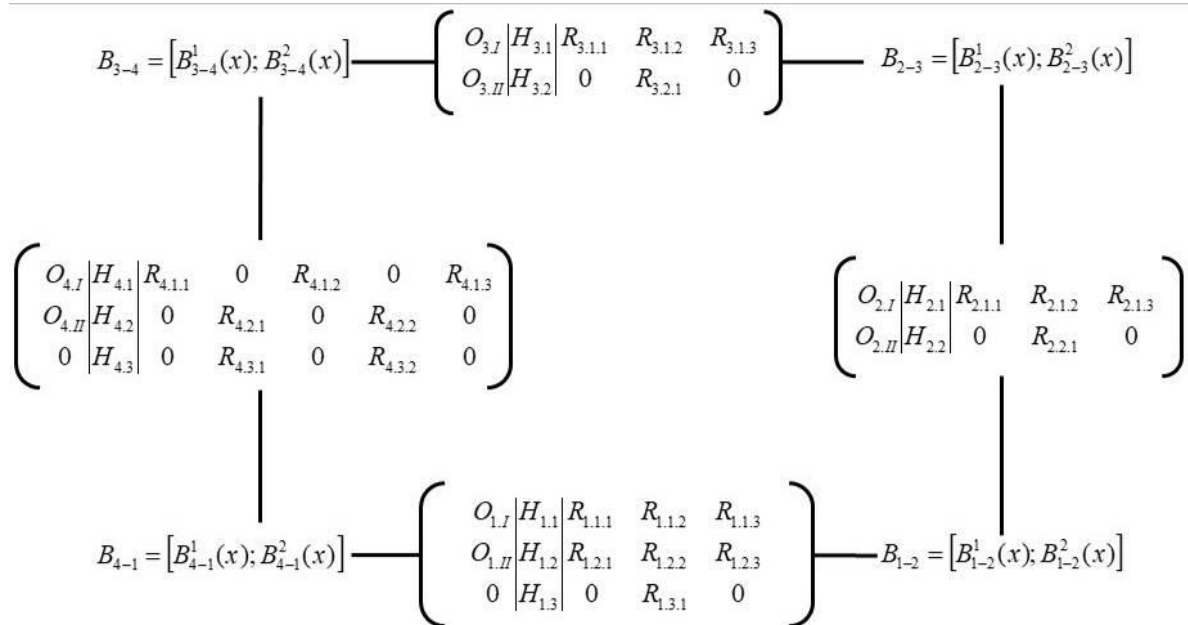


Рис. 3. Базовая архитектура математической модели структурно-параметрического синтеза металлоконструкции на основе УКСМК

Математические модели структурно-параметрического синтеза несущей металлоконструкции грузовой тележки крана мостового типа общего назначения на основе УКСМК и УКСМК включают базовый модуль синтеза параметров несущих элементов исходя из условия прочности, а также сравнительные модули, отвечающие за оценку упругой устойчивости, жесткости и сопротивления усталости конструкции.

Все матрицы параметров, используемые в модулях математической модели, целесообразно объединить в группы (рис. 4):

1. Матрицы входных параметров, куда входят матрицы содержащие значения геометрических параметров элементов (матрицы длин $l_{\Delta i}$, ширин $b_{\Delta i}$ и высот $h_{\Delta i}$ элементов), а также матрицы, отражающие размерные характеристики сварных соединений (матрицы катетов $k_{\Delta j i}$, длин $l_{w \Delta i}$ и толщин $t_{w \Delta i}$ сварных швов). Данные матрицы взаимосвязаны,

так как параметры сварных швов определяются в зависимости от размеров соединяемых элементов, которые в свою очередь предварительно назначаются исходя из стандартизированных параметров листового проката. К данной группе матриц так же относятся и матрицы действующих усилий $F_{\Delta i}$, описывающие картину распределения внешних нагрузок между элементами металлоконструкции. Исходные значения действующих нагрузок и сочетаний нагрузок определяются согласно [7, 8].

2. Операционные матрицы содержат данные, которые были получены в результате действий над матрицами исходных параметров. Сюда входят матрицы, содержащие характеристики поперечных сечений элементов металлоконструкции и сварных швов, такие как площади ($A_{\Delta i}$, $A_{w \Delta i}$), моменты инерции ($J_{\Delta i}$, $J_{w \Delta i}$) и моменты сопротивления ($W_{\Delta i}$, $W_{w \Delta i}$).

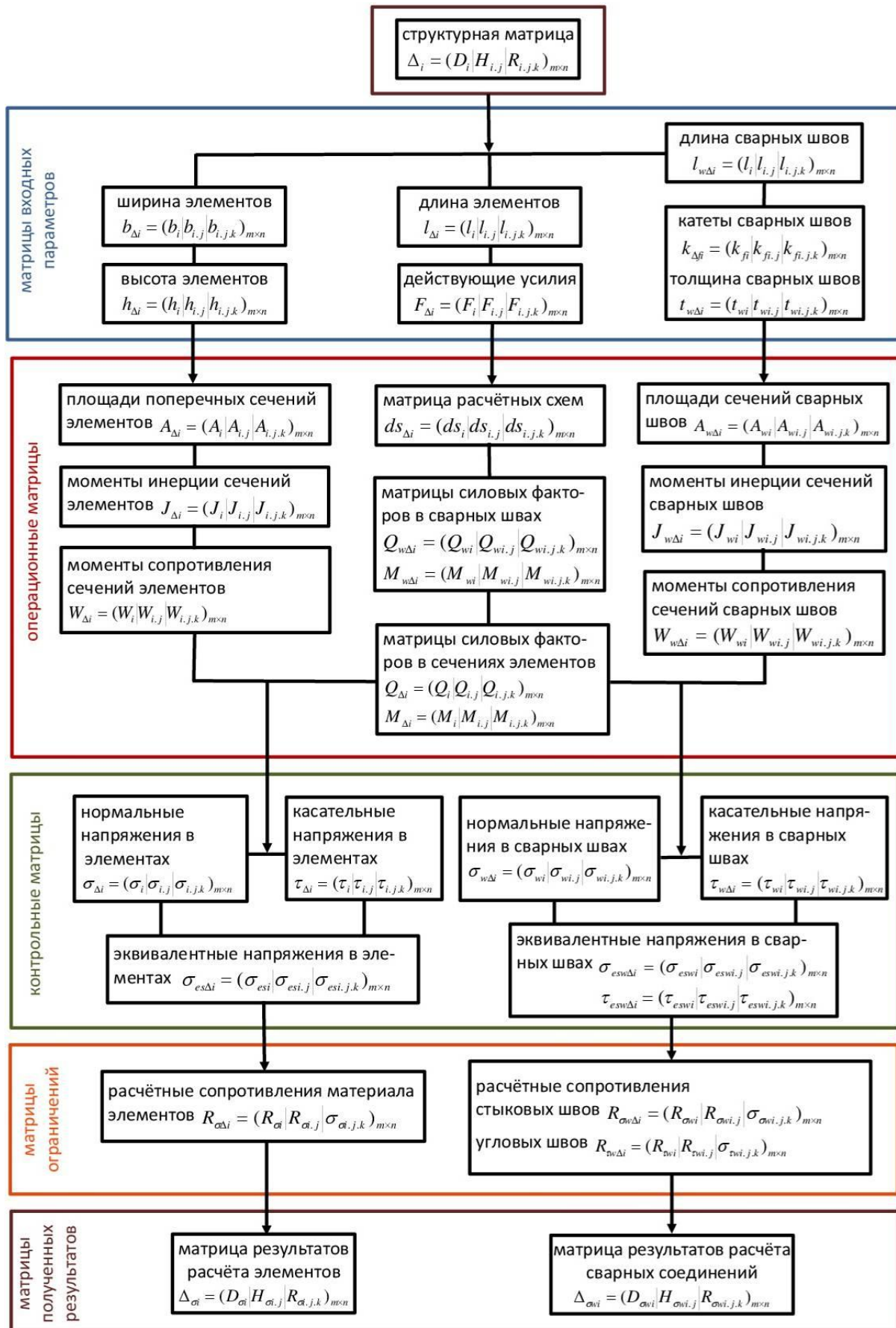


Рис. 4. Структура базового модуля синтеза параметров несущих элементов металлоконструкции

При составлении матриц расчётных схем $ds_{\Delta i}$ в целях оценки напряжённо-деформированного состояния металлоконструкции тележки могут быть применены все известные аналитические и численные методы расчётов, а так же их различные комбинации, что значительно увеличивает «гибкость» математических моделей с позиции их дальнейшего совершенствования.

Дополнительно с помощью матриц расчётных схем вычисляются усилия, действующие в сечениях элементов и сварных швах. Полученные значения изгибающих моментов и поперечных сил записываются в виде соответствующих матриц силовых факторов ($Q_{\Delta i}$, $Q_{w\Delta i}$, $M_{\Delta i}$, $M_{w\Delta i}$).

3. Контрольные матрицы представляют собой матрицы действующих напряжений, включающие значения нормальных ($\sigma_{\Delta i}$, $\sigma_{w\Delta i}$), касательных ($\tau_{\Delta i}$, $\tau_{w\Delta i}$) и эквивалентных ($\sigma_{es\Delta i}$, $\sigma_{esw\Delta i}$) напряжений, определенные для каждого элемента и сварного соединения с учетом их геометрических параметров и действующих силовых факторов.

4. Матрицы ограничений составляются на основе данных нормативно-технической документации и представляют собой матрицы предельных значений контролируемых параметров для различных предельных состояний конструкции (расчётные сопротивления используемой стали $R_{\sigma i}$, а также материала сварных швов $R_{\sigma w i}$).

Итоговой стадией структурно-параметрического синтеза является формирование матриц полученных результатов для элементов тележки и сварных соединений. Они представляются в виде структурных матриц с указанием элементов, которые не соответствуют условиям работоспособности металлоконструкции. С помощью матриц полученных результатов итоговые данные предоставляются в максимально наглядном виде, так как из общей конструкции выделяются элементы и узлы требующей конструктивной доработки.

После проведения структурного синтеза по предложенным математическим моделям рациональность выбора параметров различных элементов металлоконструкции тележки подтверждается проверочным расчётом,

проводимым с применением метода конечных элементов.

4. Результаты и их анализ

Примененный в разработанных математических моделях структурного синтеза матричный принцип представления информации позволяет ввести в общий процесс проектирования металлоконструкций грузовых тележек следующие, более совершенные по отношению к классическим методам, особенности:

1) единовременное представление проектной информации по всей совокупности рассчитываемых элементов металлоконструкции, что способствует повышению эффективности процессов анализа и принятия дальнейших технических решений;

2) совершенствование процесса конструирования металлоконструкции тележки за счет возможности анализа комплексного взаимодействия расчетных элементов друг с другом по различным параметрам в рамках укрупненных модулей (сегментов);

3) возможность оперативного введения в матричные структуры новых структурных элементов или перекомпоновки уже рассчитанных в процессе структурно-параметрического синтеза;

4) комплексный расчетный анализ соединений элементов металлоконструкции (сварных, болтовых) в структурах сегментов.

5. Заключение

Предложенные математические модели структурно-параметрического синтеза металлоконструкций грузовых тележек кранов мостового типа полностью соответствуют действующей нормативно-технической документации в области проектирования грузоподъемных машин.

Модели являются адаптивными по своей структуре, что выражается в возможности структурной перекомпоновки базового и сравнительных модулей с учетом современного уровня развития технической науки (при применении новых типов конструкционных материалов, совершенствовании ме-

тодов расчета и оценки напряженно-деформированного состояния объектов машино-

строения, изменении требований нормативно-технической документации).

Список литературы

1. ГОСТ 33169-2014. Краны грузоподъемные. Металлические конструкции. Подтверждение несущей способности. – Введ. 2016-01-01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 51 с.
2. Вершинский, А.В. Строительная механика и металлические конструкции / А.В. Вершинский, М.М. Гохберг, В.П. Семёнов. – Л.: Машиностроение, 1984. – 231 с.
3. Гохберг, М.М. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин / М.М. Гохберг. – Л.: Машиностроение, 1969. – 520 с.
4. Гончаров, К.А. Универсальная компоновочная схема металлоконструкции грузовой тележки крана мостового типа / К.А. Гончаров, И.А. Денисов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2017. – №1. – С. 60-66.
5. Пат. 175918 Российская Федерация (51) МПК В66С 11/00. Опорная грузовая тележка крана / Гончаров К.А., Денисов И.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет». – № 2017100756; заявл. 10.01.2017; опубл. 22.12.2017, Бюл. № 34.
6. Пат. 178169 Российская федерация (51) МПК В66С 11/00. Модульная грузовая тележка крана мостового типа / Гончаров К.А., Денисов И.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет». – № 2017130055; заявл. 24.08.2017; опубл. 26.03.2018. Бюл. № 9.
7. ГОСТ 32579.1-2013. Краны грузоподъемные. Принципы формирования расчётных нагрузок и комбинаций нагрузок. Часть 1. Общие положения. – Введ. 2015-01-06. – М.: Стандартинформ, 2015. – 36 с.
8. ГОСТ 32579.5-2013. Краны грузоподъемные. Принципы формирования расчётных нагрузок и комбинаций нагрузок. Часть 5. Краны мостового типа. – Введ. 2015-01-06. – М.: Стандартинформ, 2015. – 15 с.

References

1. GOST 33169-2014. *Lifting cranes. Metal constructions. Confirmation of bearing capacity*. Moscow, Standartinform, 2015. 51 p. (In Russian).
2. Vershinskii A.V., Gokhberg M.M., Semyonov V.P. *Construction mechanics and metal structures*. Moscow, Mashinostroenie, 1984. 231 p. (In Russian).
3. Gokhberg M.M. *Metal structures of hoisting-and-transport machines*. Leningrad, Mashinostroenie, 1969. 520 p. (In Russian).
4. Goncharov K.A., Denisov I.A. Multipurpose layout drawing of metalware of bridge crane load trolley. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, No.1, pp. 60-66. DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2017-03-01-60-66>. (In Russian).
5. Patent RU 175918. *Opornaya грузовая telezhka kрана* [Crane loading trolley] Goncharov K.A., Denisov I.A. Declared 10.01.2017. Published 22.12.2017. (In Russian).
6. Patent RU 178169. *Modulnaya грузовая telezhka kрана mostovogo tipa* [Modular loading trolley of the crane of bridge type]. Goncharov K.A., Denisov I.A. Declared 24.08.2017. Published 26.03.2018. (In Russian).
7. GOST 32579.1-2013. *Cranes. Design principles for loads and load combinations. Part 1. General*. Moscow, Standartinform, 2015. 36 p. (In Russian).
8. GOST 32579.5-2013. *Cranes. Design principles for loads and load combinations. Part 5. Bridge Cranes*. Moscow, Standartinform, 2015. 15 p. (In Russian).