

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ КРАНА ГАРАЖНОГО

Анализируется конструкция крана гаражного, приводятся расчеты оптимальных соотношений элементов конструкции.

Ключевые слова: кран, нагрузка, реакции, эпюра моментов, оптимизация.

В настоящее время расширяется выпуск оборудования, предназначенного для автомобильных мастерских и станций технического обслуживания, в частности — разнообразных подъемников кранов, конструкции которых не отвечают критериям оптимальности, а зачастую и работоспособности, несмотря на пройденные процедуры сертификации.

Предприятие ОАО «Автоспецоборудование» г. Пскова осваивает выпуск специального гаражного крана грузоподъемностью до 1 тонны для подъема двигателя и других автомобильных агрегатов. На рис. 1 приведена схема конструкции данного крана.

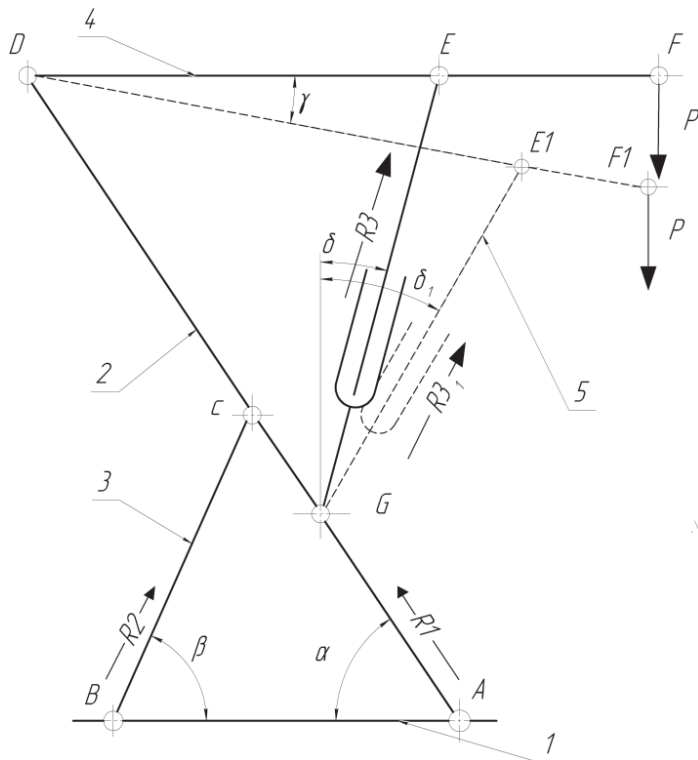


Рис. 1. Схема конструкции крана:

1 — основание, 2 — балка, 3 — подкос, 4 — стрела, 5 — гидроцилиндр

Нагрузка P (рис. 1) воспринимается стрелой (4), закрепленной на основной балке (2) и удерживается гидроцилиндром (5). Положение в начале подъема показано пунктиром, а соответствующие параметры даны с индексом 1.

Полагая известными длины компонентов, найдем реакции в подкосе и балке (решая систему уравнений равновесия или треугольник сил):

$$\begin{cases} R1 \cos \alpha - R2 \cos \beta = 0 \\ R1 \sin \alpha + R2 \sin \beta = P \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R1 = P \frac{\cos \beta}{\sin(\alpha + \beta)} \\ R2 = P \frac{\cos \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} \end{cases} \quad (1)$$

Заметим, что реакции не зависят от размеров компонентов и что проекции реакции подкоса $R2$ на балку и перпендикулярно ей составляют, соответственно: $R2_h = -R2 \cos(\alpha + \beta)$, $R2_v = R2 \sin(\alpha + \beta)$, откуда:

$$R2_h = -P \frac{\cos \alpha}{\operatorname{tg}(\alpha + \beta)}, R2_v = P \cos \alpha \quad (2)$$

Таким образом, поперечная нагрузка оси балки от закрепленного подкоса зависит только от угла наклона балки, а осевая — еще и от угла установки подкоса.

Расчет нагрузок стрелы и гидроцилиндра имеет ряд особенностей, так как длина гидроцилиндра меняется при подъеме стрелы (предполагаем, что подъем происходит от угла γ до горизонтального положения стрелы).

Заметим, что $\angle D = \alpha - \gamma$ и по теореме косинусов длина гидроцилиндра составит:

$$GE = \sqrt{DG^2 + DE^2 - 2DG \times DE \cos(\alpha - \gamma)} \quad (3)$$

Заменяя гидроцилиндр его реакцией, запишем уравнение моментов относительно шарнира D : $P \times DF \cos \gamma = R3 \times DE (\cos \gamma + \sin \gamma)$, откуда:

$$R3 = P \frac{DF}{DE} \times \frac{1}{1 + \operatorname{tg} \gamma} \quad (4)$$

Из (4) следует, что максимальная реакция в гидроцилиндре возникает при горизонтальном положении стрелы, что позволяет несколько упростить последующие выкладки, принимая $\gamma = 0$.

Тогда получим длину гидроцилиндра $GE = \sqrt{DG^2 + DE^2 - 2DG \times DE \cos(\alpha)}$.

Определим недостающие углы треугольника $\triangle DEG$ по теореме синусов $\frac{GE}{\sin \angle D} = \frac{DE}{\sin \angle G} = \frac{DG}{\sin \angle E}$, учитывая, что $\angle D = \alpha$.

После некоторых преобразований получим:

$$\sin \angle E = \frac{\sin \alpha}{\sqrt{1 + \left(\frac{DE}{DG}\right)^2 - 2 \frac{DE}{DG} \cos \alpha}} \quad (5)$$

Тогда, так как $R_3 \sin \angle E \times DE = P \times DF \Rightarrow R_3 = P \frac{DF}{DE} \times \frac{1}{\sin \angle E}$, то для горизонтального положения стрелы окончательно получим:

$$R_3 = P \frac{DF}{DE} \times \frac{\sqrt{1 + (DE/DG)^2 - 2(DE/DG) \cos \alpha}}{\sin \alpha} \quad (6)$$

Аналогичным образом, заменяя шарнир D его реакцией, получим:

$$R_D = P \frac{DF - DE}{DE} = P \left(\frac{DF}{DE} - 1 \right) \quad (7)$$

Графически (принимая $\alpha \in [\pi/4; \pi/2]$, $DE/DG \in [0,5; 2]$ и с точностью до коэффициента $P \frac{DF}{DE}$) реакция в цилиндре имеет следующий вид (рис. 2).

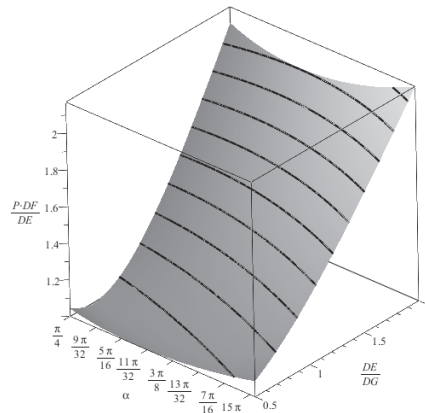


Рис. 1. Относительная реакция в гидроцилиндре

Наиболее опасными для балки и стрелы являются изгибающие напряжения, причиной которых являются проекции реакций, перпендикулярных оси балки.

Так, для стрелы (рис. 3):

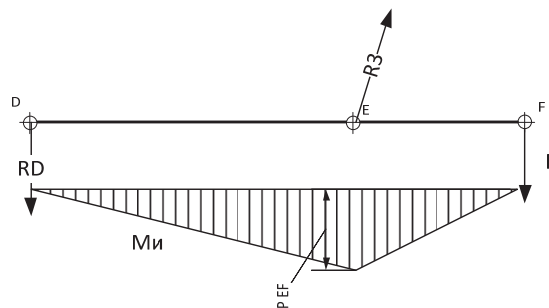


Рис. 2. Эпюра изгибающих моментов стрелы подъемника

Для основной балки возможны две ситуации: подкос закреплен (точка С) выше гидроцилиндра (точка G) или ниже, что соответствует двум возможным эпюрам (рис. 4).

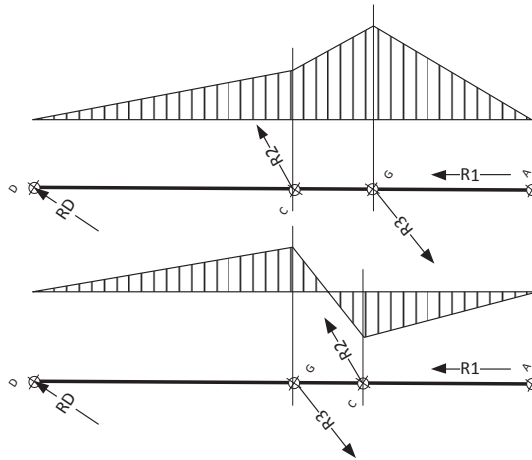


Рис. 3. Эпюры изгибающих моментов балки крана

Очевидно, что с учетом соотношений (1), (2), (6), (7) последний вариант является более предпочтительным, однако он требует более высокой подъемной силы в гидроцилиндре. В результате многокритериальной оптимизации представленной конструкции по выявленным закономерностям для реакций в стержнях и шарнирах удалось сформулировать оптимальные соотношения размеров элементов крана.

Литература

1. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин: учебник для ВТУЗов. М. : Наука, 1988.

S. I. Dmitriev, A. I. Samarkin, E. A. Evgenyeva

OPTIMIZATION OF CONSTRUCTION CRANE GARAGE

This article analyzes the construction crane garage. Authors give analytical calculations of the optimal proportions of structural elements.

Keywords: crane, load response, the diagram of moments, optimization.

Дмитриев Сергей Иванович — заведующий кафедрой «Технология машиностроения» ФГБОУ ВПО ПсковГУ, канд. техн. наук, доцент, dmitrievsi55@gmail.com.

Самаркин Александр Иванович — доцент кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВПО ПсковГУ, канд. техн. наук, alex_samarkin@mail.com.

Евгеньева Евгения Анатольевна — старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВПО ПсковГУ, zhen_sheny@mail.ru.