

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования «Московский государственный  
технический университет им. Н. Э. Баумана»

ПРИМЕР

ОТЧЕТ

о выполнении домашнего задания

«Моделирование оптимальной топологии деталей устройств»

по курсу

«Конструирование элементов грузоподъемных машин»

Вариант – см. иллюстрацию

Выполнил: Фамилия И. О.

Группа: РК4-51

Проверил: Фамилия И. О.

Москва, 2017

## Оглавление

Цель работы .....	3
Задание.....	3
Исходные данные .....	3
Анализ схемы и принципа работы устройства.....	4
Обоснование размеров грузозахвата .....	5
Построение расчетной схемы.....	6
Обоснование областей отсутствия либо присутствия материала .....	7
Поиск оптимальной топологии изделия .....	8
Анализ результатов работы.....	15
Выводы .....	16

## Цель работы

С применением свободного программного обеспечения получить первичные навыки поиска оптимальных решений топологии (2D и/или 3D) деталей на начальных этапах их конструирования, а также задания граничных условий для задачи статического анализа.

## Задание

Выполнить поиск оптимальной топологии (2D и/или 3D) элементов известных технических решений грузозахватных устройств. При поиске использовать свободное программное обеспечение, предназначенное для выполнения топологической оптимизации.

## Исходные данные

Поставленная задача решается применительно к конструкции рычага (выделен желтым цветом) грузозавхвата, схема которого представлена на рис. 1.

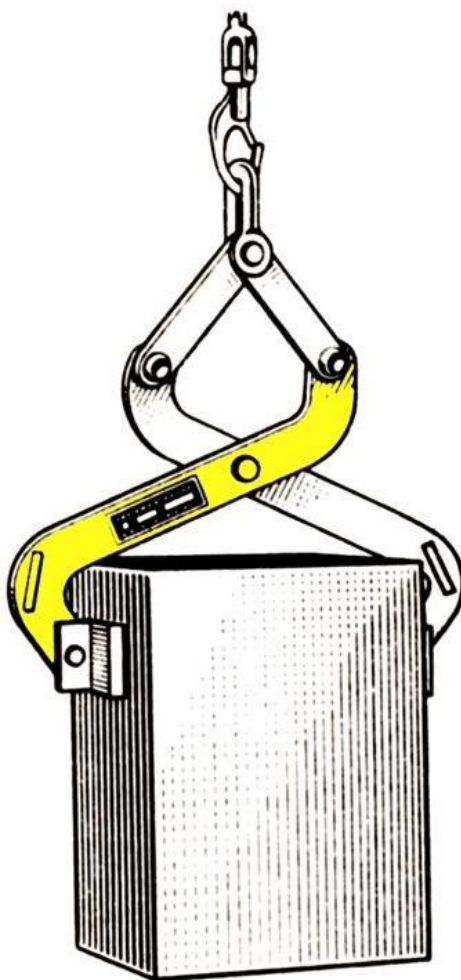


Рис. 1. Схема грузозахватного устройства

## **Анализ схемы и принципа работы устройства**

Представленное на рис. 1 решение грузозахватного устройства предназначено для манипулирования грузами, имеющими форму прямоугольного параллелепипеда. В захвате имеется пара башмаков, шарнирно закрепленных на двух рычагах, которые также шарнирно соединены (нижняя ось) друг с другом. К рычагам шарнирно крепится пара тяг, шарнирно соединенных общей осью (верхняя ось) со скобой, предназначенной для навешивания на грузозахватный орган грузоподъемного устройства (машины). Рычаг имеет сложную изогнутую форму, что позволяет работать с грузами разных размеров.

Работы с применением данного устройства производятся следующим образом. Оператор подводит к грузу захвата разводит над ним в стороны башмаки и грузоподъемным устройством опускает захват на груз до касания захватом груза. Затем подается команда на подъем грузозахвата, в ходе которого его башмаки, сближаясь, сжимают груз с двух сторон. Если сила трения между башмаками и грузом превысит вес груза, то дальнейший подъем захвата приведет к отрыву груза от основания, в ином случае – груз останется на основании.

Такие захваты применяются для перегрузки одинаковых грузов. Их грузоподъемность ограничена и зависит от массы самого захвата, величины коэффициента трения между грузом и башмаками захвата и характеристик груза (габариты, масса). Поэтому в расчетах таких захватов учитывается лишь одно сочетание нагрузок, когда груз, удерживаясь захватом, приподнят над основанием.

## Обоснование размеров грузозахвата

На рис. 1 представлено некоторое конструктивное решение грузозахвата, характеристики которого неизвестны. Предположим, что исследуемый захват будет применяться для перемещения одинаковых грузов. Найдем такие геометрические параметры захвата, при которых его грузоподъемность при коэффициенте запаса силы сжатия была бы в три раза больше веса самого захвата. Для решения этой задачи воспользуемся приведенной на стр. 172 книги Вайнсона А.А., Андреева А.Ф. Крановые грузозахватные устройства: Справочник. 1982 формулой

$$\frac{k_1}{\mu} = \left[ a \left( 1 + \frac{G_3}{Q_\Gamma} \right) / \cos \alpha + c \right] / b,$$

где  $k_1$  – коэффициент запаса силы сжатия;

$\mu$  – коэффициент трения между контактными поверхностями захватного органа и груза;

$a, b, c$  – геометрические характеристики захвата;

$G_3, G_\Gamma$  – вес захвата и груза соответственно.

Равенство сторон формулы обеспечивается, в частности, при следующих значениях ее аргументов

$$\frac{1,6}{0,13} = \left[ 530 \left( 1 + \frac{1}{3} \right) / \cos 75^\circ + 350 \right] / 250.$$

В соответствии с полученными данными построена схема (рис. 2) захвата. Предположим, что сжимающее груз усилие не приводит к его повреждению, а деформации груза не оказывают существенного влияния на изменение угла  $\alpha$ . Остановимся на полученной схеме захвата.

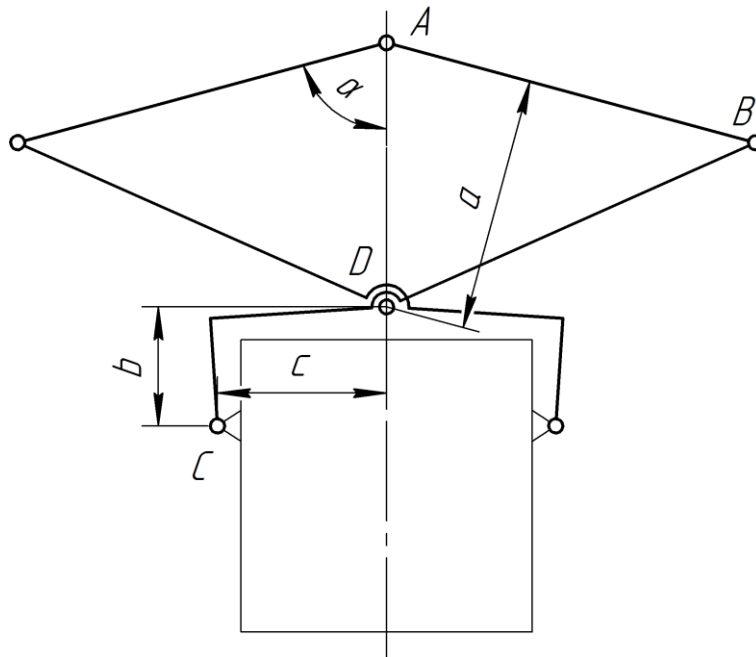


Рис. 2. Схема захвата, полученная в соответствии с результатами

### Построение расчетной схемы

Построим схему сил (рис. 3), действующих на рычаг захвата (рис. 2), а также приближенно представим для него силовой многоугольник.

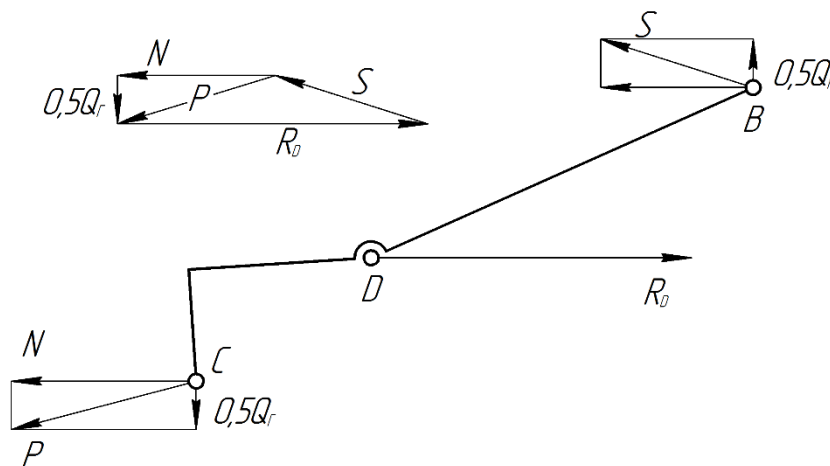


Рис. 3. Схема сил, действующих на рычаг захвата

Ввиду симметрии захвата сила  $R_D$  направлена горизонтально. Сила  $S$  приближенно направлена вдоль тяги захвата. Направление силы  $P$  определяется суммой сил  $N$  и  $0,5Q_\Gamma$ , где  $N = k_1 0,5Q_\Gamma / \mu$ .

Примем следующую расчетную схему (рис. 4) захвата, в которой для исключения силы  $P$  (рис. 3) в точке  $C$  приложим две связи, полностью ограничивающие перемещение соответствующего узла рычага. Приложение еще

одной (третьей) связи, ограничивающей горизонтальное перемещение рычага в точке  $D$ , позволяет исключить из расчетной схемы силу  $R_D$  (рис. 3).

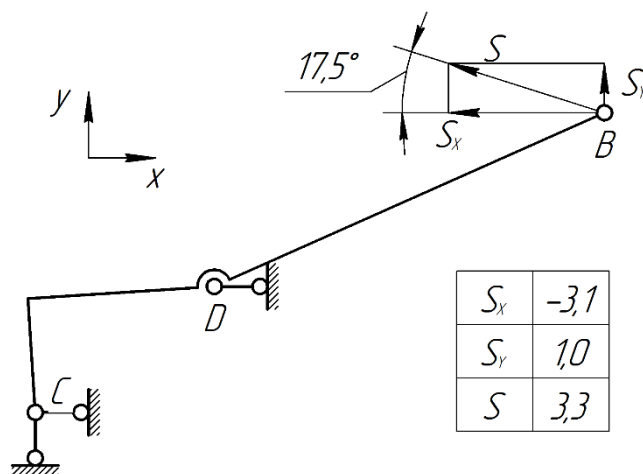


Рис. 4. Расчетная схема грузового захвата

В результате исключения сил  $P$  и  $R_D$  в расчетной схеме остается только одна сила  $S$ . Так как в расчетной схеме (рис. 4) только одна сила, то оптимизационной модели ее можно принять равной единице. Однако ввиду того, что она повернута на угол, значение которого существенно отличается от числа, кратного 10, в оптимизационной модели целесообразно вместо суммарной силы  $S$  задавать ее проекции  $S_x$  и  $S_y$ . Поэтому пусть проекция  $S_y = 1,0$ , тогда  $S_x = -3,1$ .

### Обоснование областей отсутствия либо присутствия материала

Под рычагами захвата должен располагаться груз, а потому рычаг должен иметь такое исполнение, при котором он не «вторгался» бы в область расположения груза. Эта область (заштрихована) показана на рис. 5. С иных сторон рычага целесообразность задания областей отсутствия материала неочевидна. В задании области присутствия материала нет необходимости.

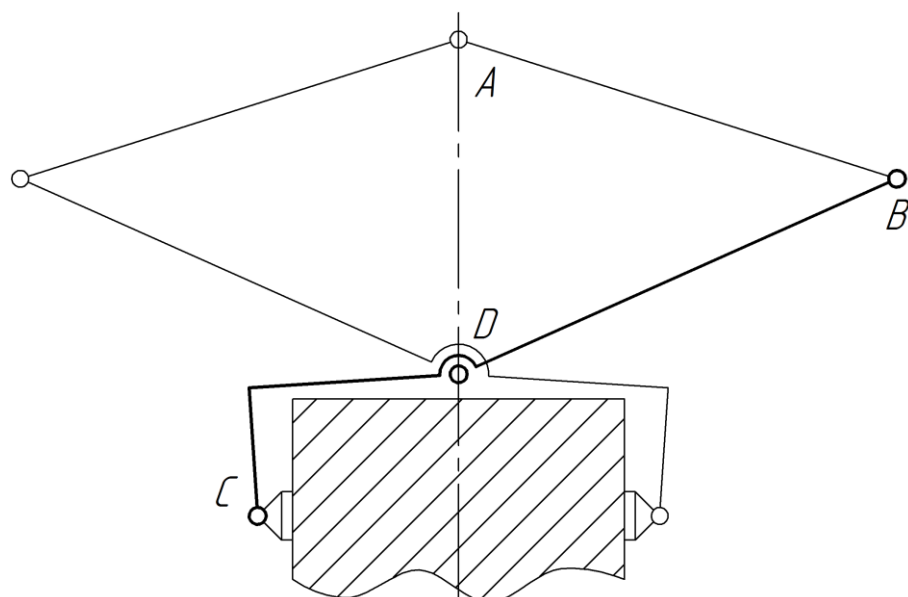


Рис. 5. К определению области допустимого расположения материала

### Поиск оптимальной топологии изделия

Построение оптимизационной модели рычага захвата выполним с применением свободного программного обеспечения – программы топологической оптимизации TopOpt-2D.

1. Скорректируем исходные параметры проектной области, увеличив ее размеры со значений по умолчанию (200x160) до 400x400, а коэффициент заполнения проектной области уменьшив с 50% до 10%.

2. В соответствии с расчетной схемой (рис. 4) добавим в проектную область ограничения оптимизации (рис. 6): зададим две опоры (шарнирно-неподвижную и шарнирно-подвижную в вертикальном направлении), одну силу и представим границы области допустимого расположения материала.

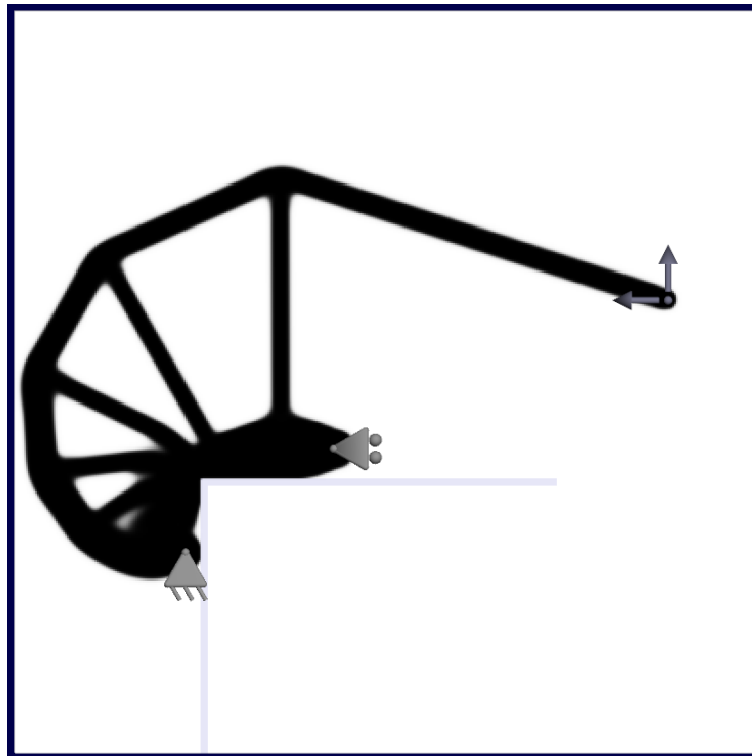


Рис. 6. Первые результаты поиска оптимальной топологии рычага

Анализ результатов построения показывает, что распространение линий построения в значительной мере в направлении верхнего левого угла проектной области. Между силами и правой границей области линии построения отсутствуют. Целесообразно раздвинуть по проектной области ограничения оптимизации так, чтобы получаемые линии построения занимали как можно большее пространство проектной области, но при этом минимально касались бы ее границ. Однако на следующем этапе выполним другую операцию.

Точка  $B$  приложения силы  $S$  (а вместе с ней и положение соответствующего шарнира захвата) без потери эксплуатационных свойств захвата может быть перемещена (см. рис. 2) вдоль линии ее действия. Смещение точки приложения этой силы к оси симметрии захвата позволит несколько уменьшить габаритные размеры захвата. При этом однако чрезмерное приближение ее к оси захвата усложнит задачу обеспечения угла  $\alpha$  при подъеме грузов, поскольку этот угол должен обеспечиваться с учетом зазоров в шарнирах, жесткости шарниров, элементов захвата и самого груза. Результаты топологической оптимизации для случая со смещенной точкой приложения силы  $S$  представлены на рис. 7.

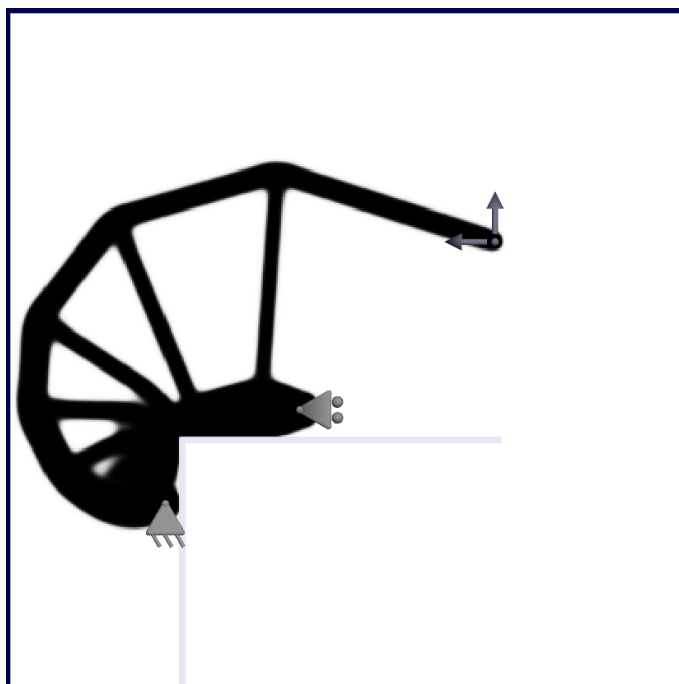


Рис. 7. Результат топологической оптимизации после смещения точки приложения силы  $S$

3. Рассредоточим по проектной области ограничения оптимизации так, чтобы получаемые линии построения занимали как можно большее пространство проектной области, но при этом минимально касались бы ее границ (рис. 8).

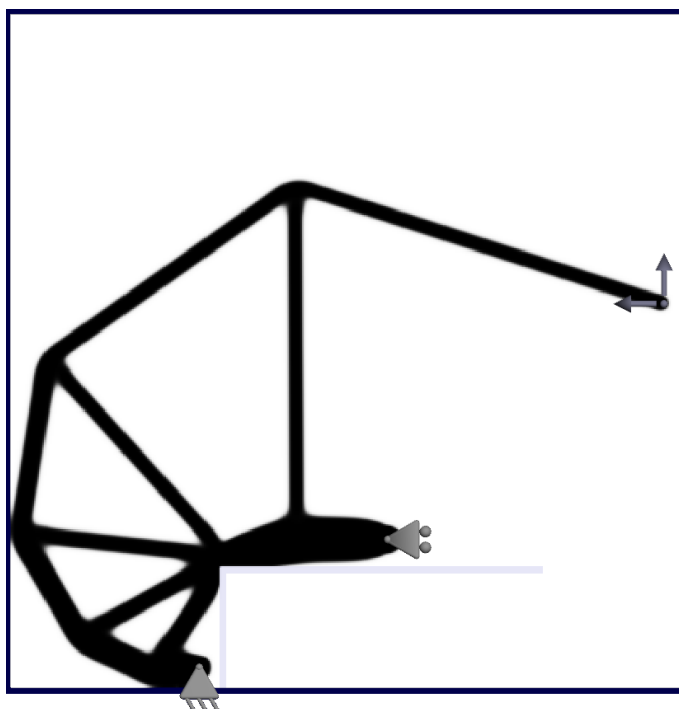


Рис. 8. Результат рассредоточения ограничений оптимизации по проектной области



5. Уменьшим высоту (с 400 до 320 единиц) проектной области так, чтобы при этом линии построения едва касались ее верхней границы (рис. 10).

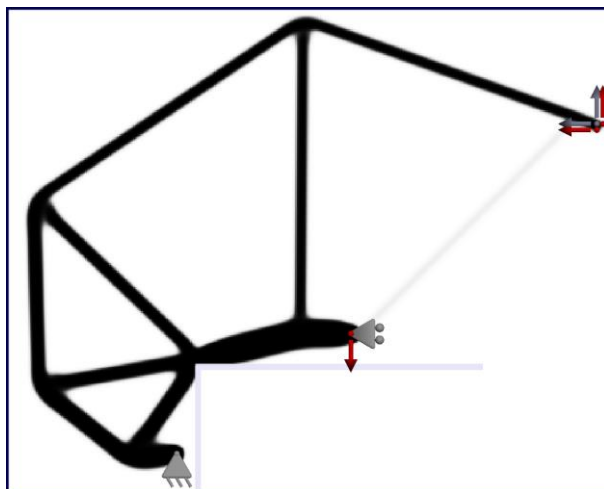


Рис. 10. Результаты уменьшения высоты проектной области

6. Ответим на вопрос «будет ли рычаг, полученный на основе такой топологии (рис. 10), при работе захвата мешать работе других элементов захвата (например, упираться в другие элементы, препятствуя их перемещению)?» Очевидно, что идущая от точки приложения сил более широкая линия построения идет в направлении шарнира, где соединяются обе тяги. Для того, чтобы получаемые на основе топологической оптимизации рычаги не перемещались вблизи шарнирных соединений других элементов, целесообразно скорректировать результаты топологической оптимизации, добавив в верхней части проектной области новую область отсутствия материала (рис. 11).

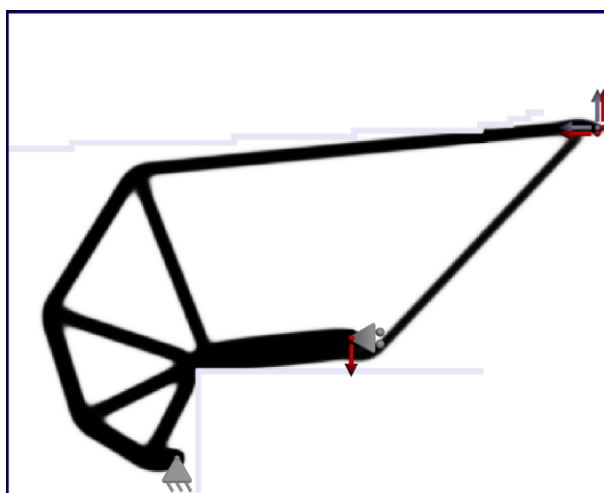


Рис. 11. Результаты топологической оптимизации рычага после добавления второй области отсутствия материала

Полученные результаты (рис. 11) представим (рис. 12) при различном значении коэффициента  $k$  заполнения проектной области.

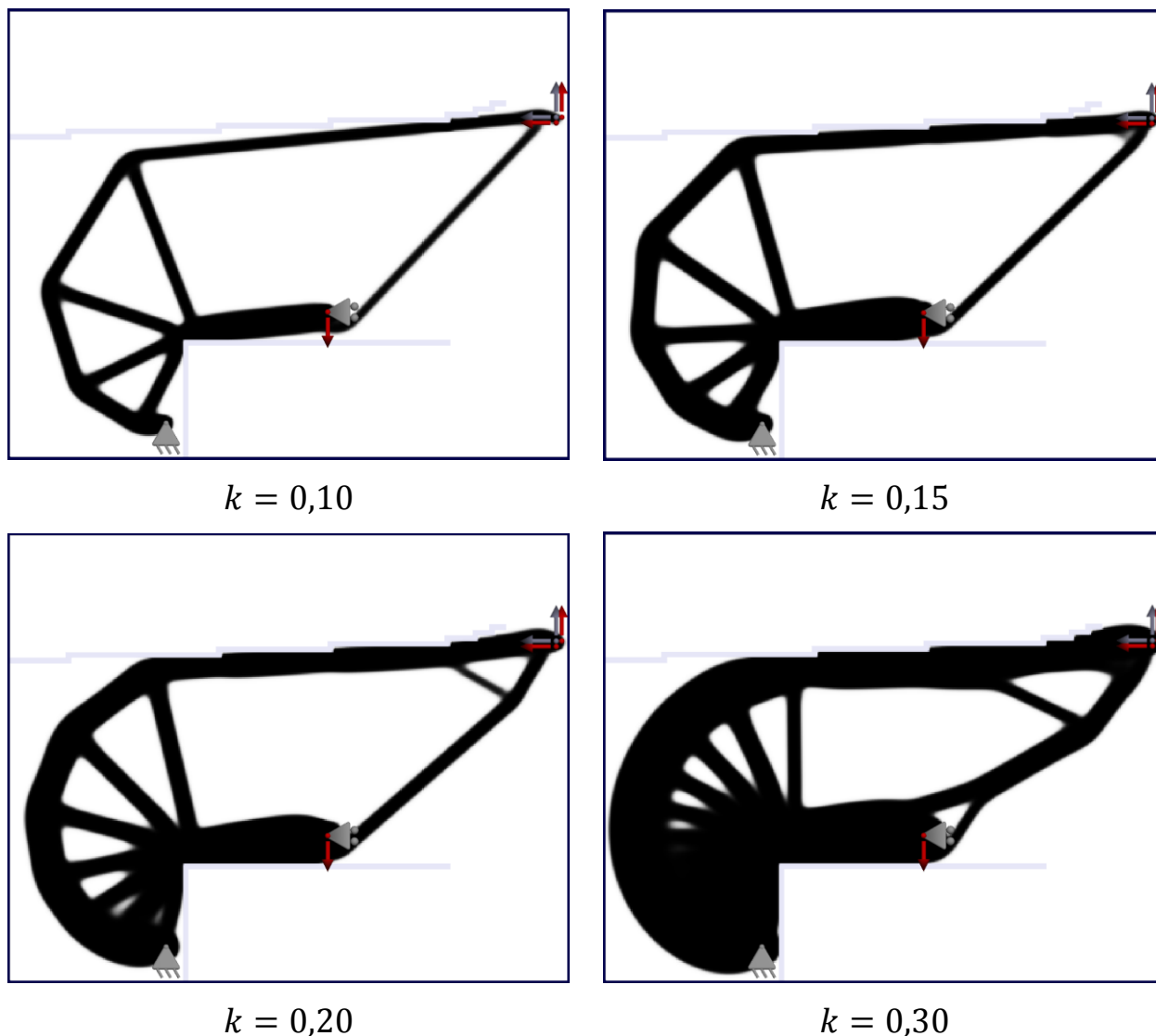


Рис. 12. Результаты смещения ограничений оптимизации к левой границе рабочей области в зависимости от коэффициента заполнения проектной области

7. В процессе эксплуатации захвата не исключена необходимость оперирования с грузами в стесненных условиях, а потому могут быть ограничения на размеры элементов захвата, выступающих за границы перемещаемых грузов (в горизонтальном направлении). В таком случае целесообразно часть рычага, выступающую за пределы груза (в горизонтальном направлении), уменьшить в размерах. Это может быть реализовано посредством

смещения ограничений оптимизации к левой границе рабочей области так, чтобы обеспечивалось требуемое расстояние между границей рабочей области и областью, моделирующей захватываемый груз, либо посредством добавления третьей области отсутствия материала (рис. 13).

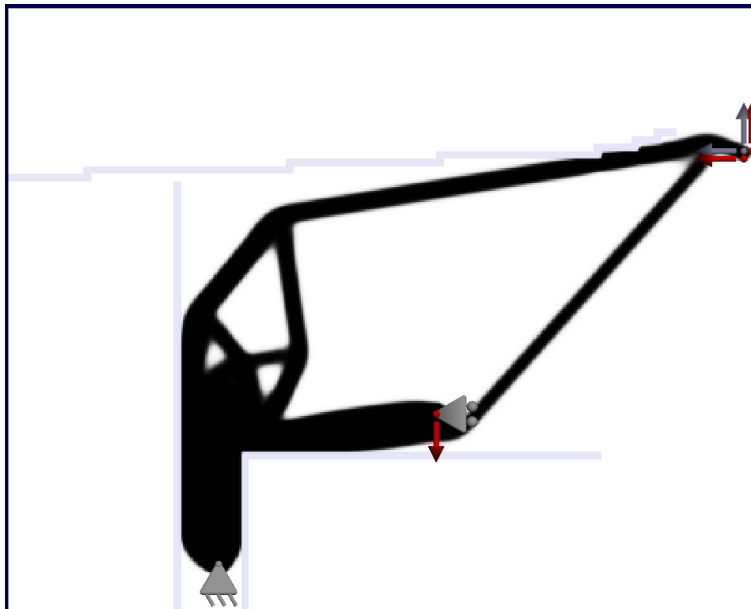


Рис. 13. Результаты топологической оптимизации для конструктивного решения рычага захвата, предназначенного для работы в стесненных условиях

Качество последних результатов может быть слегка повышено (рис. 14), если ограничения оптимизации расположить на проектной области так, чтобы при этом использовалось все пространство проектной области.

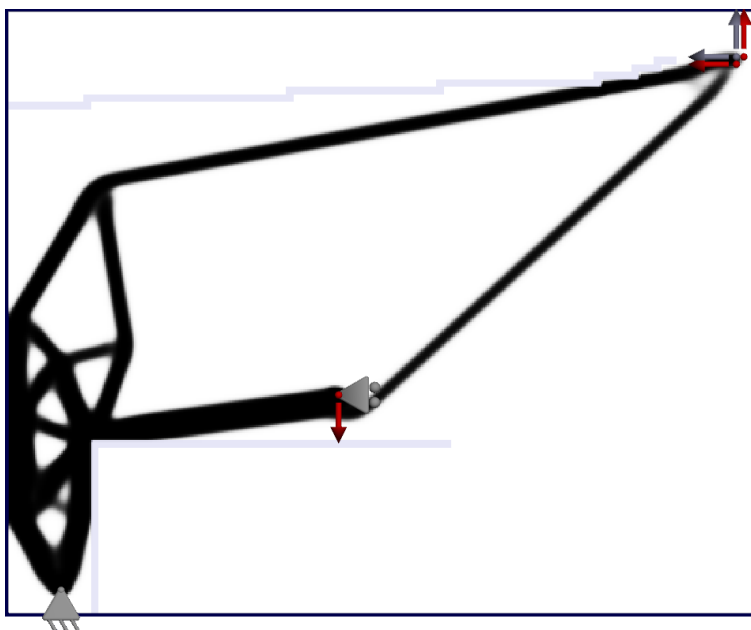


Рис. 14. Результат корректировки предыдущих результатов

## Анализ результатов работы

В работе обоснованы геометрические характеристики грузозахвата, при которых при подъеме груза, масса которого превышает массу грузозахвата в 3 раза, обеспечивается коэффициент запаса силы сжатия 1,6.

Для этого грузозахвата получено два варианта оптимальной топологии его рычага (рис. 15,б), в том числе, для случая манипулирования с грузами в стесненных условиях. Топология оптимизированного рычага существенно отличается от исходной топологии (рис. 15,а): в новом варианте основная масса материала по сравнению с исходным вариантом смещена в область, расположенную слева вверху, участок рычага BD (рис. 2) представлен лишь тонкой линией.

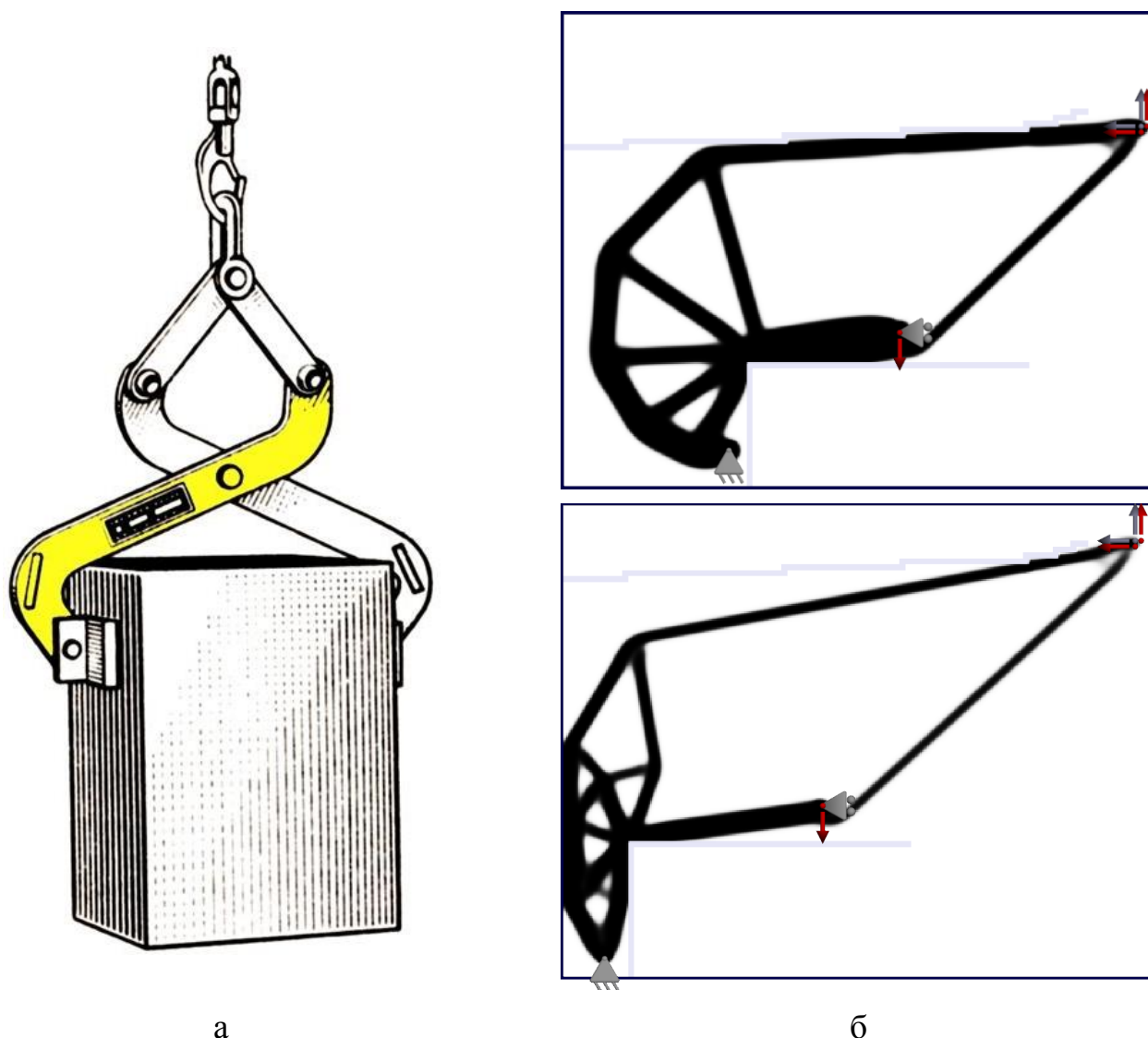


Рис. 15. К анализу результатов работы: а – исходная схема грузозахвата, б – варианты оптимальной топологии рычага захвата

## **Выводы**

1. Для завершения проектирования рычага захвата целесообразно создание трехмерной листовой модели технологичной детали, анализ ее прочности, жесткости и т.п.

2. Установлено, что топология, в частности, структура результатов оптимизации зависит от коэффициента заполнения проектной области (рис. 12), а потому создавать трехмерную модель оптимизированной детали целесообразно опираясь на результаты топологической оптимизации, полученные при различных значениях коэффициента заполнения проектной области.

3. Необходимо на каждом этапе проверять результаты топологической оптимизации на потенциальную работоспособность захвата, в составе которого мог бы быть включен полученный на основе оптимальной топологии рычаг.