

DOI 10.53364/24138614\_2021\_21\_2\_37  
УДК 681.521

Е.С. Темирбеков<sup>1,3</sup>, Е. Аринов<sup>2</sup>, Б.О.Бостанов<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

<sup>2</sup>Жезказганский университет имени О.А. Байконурова

<sup>3</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби

<sup>4</sup>Институт механики и машиноведения имени академика У.А. Джолдасбекова

<sup>1</sup>E-mail: [temirbekove@mail.ru](mailto:temirbekove@mail.ru) \*

<sup>2</sup>E-mail: [arinov91@mail.ru](mailto:arinov91@mail.ru)

<sup>3</sup>E-mail: [bostanovbayandy@mail.ru](mailto:bostanovbayandy@mail.ru)

**СХВАТ РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА С ГИБКИМИ ТЯГОВЫМИ  
ЭЛЕМЕНТАМИ**  
**ИКЕМДІ ТАРТУ ЭЛЕМЕНТТЕРІ БАР РОБОТ-МАНИПУЛЯТОРДЫ ҰСТАП АЛУ**

**GRIPPING OF A ROBOT MANIPULATOR WITH FLEXIBLE TRACTION  
ELEMENTS**

**Аннотация.** В этой статье моделируется схват с приводами в виде трех гибких тяговых элементов. Он разрабатывается для выполнения операций схватывания средствами робототехники, что позволит не только повысить производительность, но и взять на себя выполнение работ по ориентации. Здесь разработаны плоская модель схвата со статическими расчетами, показаны связь между реакциями в точках контакта зубьев схвата и захватываемого цилиндрического объекта, усилиями в трех гибких тяговых элементах и метрическими параметрами схвата. Взяв за основу плоскую модель, была разработана также 3D модель этого схвата на Inventor'е. Возникшая при разработке проблема контакта зубьев схвата и цилиндрической поверхности объекта была решена заменой теоретически прямой точечной линией контакта реальной узкой прямолинейной полоской на конце каждого зуба. Расчетная 3D модель схвата получилась корректной, что показывает соответствующая диаграмма. Полученная расчетная модель позволяет проводить расчеты на прочность и жесткость на Inventor'е, а также моделировать метрическими параметрами схвата и внешней нагрузкой для получения оптимальных размеров схвата и рассчитать усилия на приводах для получения допустимых усилий на зубьях схвата.

**Ключевые слова:** захват, прочность, жесткость, схема, модель.

**Abstract.** In this article, a gripper with drives in the form of three flexible traction elements is modeled. It is being developed for performing grasping operations by means of robotics, which will not only increase productivity, but also take over the performance of orientation work. Here, a flat model of the gripper with static calculations is developed, the relationship between the reactions at the contact points of the teeth of the gripper and the captured cylindrical object, the forces in three flexible traction elements and the metric parameters of the gripper are shown. Taking a flat model as a basis, a 3D model of this grip was also developed on Inventor. The problem of the contact of the teeth of the grip and the cylindrical surface of the object that arose during the development was solved by replacing the theoretically straight point line of contact with a real narrow rectilinear strip at the end of each tooth. The calculated 3D model of the grip turned out to be correct, as shown by the

corresponding diagram. The resulting calculation model allows you to perform calculations for strength and stiffness on the Inventor, as well as simulate the metric parameters of the grip and the external load to obtain the optimal size of the grip and calculate the forces on the drives to obtain the permissible forces on the teeth of the grip.

**Keywords:** grip, strength, stiffness, scheme, model.

**Аңдатпа.** Бұл мақалада үш икемді тарту элементтері түрінде жетектері бар тұтқалар модельденеді. Ол робототехника құралдарымен орнату операцияларын орындау үшін жасалынған, бұл өнімділікті арттырып қана қоймай, бағдарлау жұмыстарын да орындауға мүмкіндік береді. Мұнда статикалық есептеулермен жалпақ схват моделі жасалынған, схват тістері мен қызықты цилиндрлік объектінің байланыс нүктелеріндегі реакциялар, үш икемді тарту элементтеріндегі күштер мен схваттың метрикалық параметрлері арасындағы байланыс көрсетілген. Жазық модельді негізге ала отырып, өнертапқыштағы осы тұтқаның 3D моделі жасалды. Игеру кезінде пайда болған тұтқаның тістері мен объектінің цилиндрлік бетінің түйісу мәселесі теориялық тұрғыдан тұзу нүкте түйісу сызығымен әр тістің соңында нақты тар тұзу сызықты жолақпен алмастыру арқылы шешілді. Есептелген 3D ұстау моделі дұрыс болды, бұл тиісті диаграмманы көрсетеді. Алынған есептеу моделі Inventor ' е-де беріктік пен қаттылықты есептеуге, сондай-ақ тұтқаның оңтайлы мөлшерін алу үшін тұтқаның метрикалық параметрлері мен сыртқы жүктемені модельдеуге және тұтқаның тістерінде рұқсат етілген күш алу үшін жетектердегі күштерді есептеуге мүмкіндік береді.

**Түйін сөздер:** түсіру, беріктік, қаттылық, схема, модель.

### Введение

Существующие сейчас в РК средства погрузки и разгрузки не обеспечивают в полной мере требований по ориентированной установке грузов на рабочих позициях. Выполнение этих операций средствами робототехники позволит не только повысить производительность, но и взять на себя выполнение работ по ориентации. Однако перегрузка грузов с использованием роботов-манипуляторов осложняется из-за отсутствия надежных схватов. Для решения проблемы в работе [1] уже приводились промежуточные расчеты двух схем схватов. С этих позиций предпочтение отдано второму схвату [1], представляющего собой пальцевый схват. Здесь внесены некоторые изменения в схему и её расчет (рис.1), которые были даны ранее в [1]. В работе [2] даны приемы захватывания упругих цилиндрических объектов, что явилось обоснованием выбора схемы схвата.

Разработка модели. Объект цилиндр радиуса  $R_1$ , находится в схвате. Схват состоит из рукоятки «0» с шарнирами  $G$  и  $G'$  (рис.1). К шарниру  $G$  присоединены фаланги 1,2,3. Фаланги представлены четырехугольниками, симметричными относительно соответствующих радиальных линий окружности с центром в точке  $O$ . Эти фаланги связаны шарнирами  $B$ ,  $A$  и  $G$  с рукоятью схвата 0. К шарниру  $G'$  фаланги 1',2',3' присоединены аналогично фалангам 1,2,3 (симметрично относительно оси  $OX$ ). В точке  $E$  третьей фаланги закреплен первый гибкий тяговой элемент (ГТЭ-1). Он проходит затем через отверстия в точке  $F$  второй фаланги и в точке  $K$  первой фаланги,  $L$  на рукояти и далее через отверстие  $L_1$  идет к приводу 1. В точке  $F$  фаланги 2 закреплен второй ГТЭ-2. Он проходит через отверстия  $K$  и  $L$  и далее через отверстие  $L_2$  идет к приводу 2. В точке  $K$  фаланги 1 закреплен третий ГТЭ-3. Он проходит через отверстие  $L$  и затем через

отверстие  $L_3$  идет к приводу 3. В флангах  $1', 2', 3'$  в отверстиях  $E', F', K', L_1', L_2', L_3'$  три ГТЭ проходят аналогичным образом к приводам 1,2,3 (рис.1).

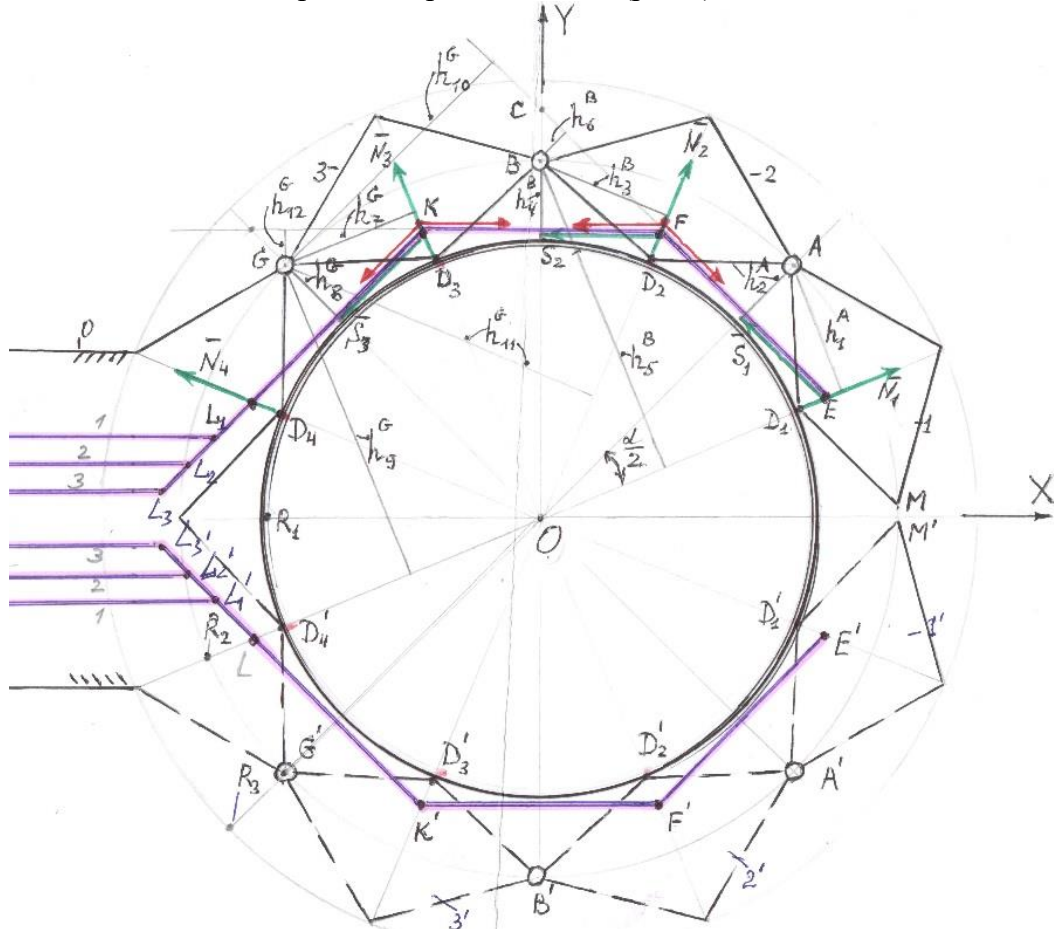


Рисунок 1 – Плоская схема схвата

Точки фланг-четырёхугольников лежат на кругах с радиусами  $R_1, R_2$  и  $R_3$  соответственно, причем  $R_3 > R_2 > R_1$ . Шарниры  $G, B, A$  и точка  $M$  расположены на окружности радиуса  $R_2$ . Дуги  $\overset{\frown}{GB}, \overset{\frown}{BA}, \overset{\frown}{AM}$  и  $\overset{\frown}{G'B'}, \overset{\frown}{B'A'}, \overset{\frown}{A'M'}$  окружности радиуса  $R_2$  опираются на центральные углы, равные  $\alpha$ . Зубья в точках  $D_1, D_2, D_3, D_4$  верхней симметричной  $G-B-A-M$  ветви и соответственно в  $D'_1, D'_2, D'_3, D'_4$  нижней симметричной ветви  $G'-B'-A'-M'$  контактируют с цилиндрическим объектом. Точки  $E, F, K, L$  с отверстиями для гибких тяговых элементов расположены на расстоянии « $a$ » в радиальном направлении от  $D_1, D_2, D_3, D_4$ :  $a = D_1E = D_2F = D_3K$ , при этом должны выполняться условия  $0 < a < R_2 - R_1$ . Аналогичным образом расположены точки  $E', F', K', L'$  относительно зубьев нижней ветви  $D'_1, D'_2, D'_3, D'_4$ . При натяжении ГТЭ от трех приводов при этом создаются моменты сил, необходимые для удержания цилиндрического объекта. Чтобы лучше удерживать объект, три фланги схвата должны охватывать не менее половины его окружности сечения. Для этого должно выполняться

условие:  $\alpha \geq 45^\circ$ . В данном случае мы взяли  $\alpha = 45^\circ$ , тогда охват цилиндра в захвате с каждой стороны будет равен полуокружности (рис.1).

**Основная часть**

Расчет реакций сил на зубьях плоской модели схвата. Чтобы между ГТЭ и захватываемым ими цилиндрическим объектом не было контакта, необходимо выполнение условия:  $R_2 - R_1 > a > R_1 / \cos(\alpha/2) - R_1$ . Найдем усилие  $\bar{N}_3$  (на рис.1, зеленая стрелка), оно возникает в точке  $D_3$  контакта зуба 3 и поверхности цилиндрического объекта при натяжении ГТЭ-1. Из условия равновесия фаланги 3 имеем:  $N_3 = S_3 h_2^A / h_1^A$ . Здесь  $h_1^A, h_2^A$  - плечи моментов усилий  $\bar{N}_3$  и  $\vec{S}_3$  относительно точки А.  $\vec{S}_3$  - усилие в ГТЭ-1 (зеленая стрелка). Из геометрии модели находим размеры  $h_1^A = R_2 \sin(\alpha/2)$ ,  $h_2^A = R_2 - R_1$ . Найдем внутреннее усилие  $\bar{N}_2$ , которое возникает в зубе 2. Оно возникает в точке  $D_2$  (зеленая стрелка) контакта зуба 2 и поверхности цилиндрического объекта при натяжении ГТЭ-1 и ГТЭ-2. Рассмотрим условие равновесия двух фаланг 3 и 2:

$$N_2 = \frac{1}{h_3^B} (S_2 h_4^B - S_3 h_6^B - N_3 h_5^B + S_F h_3^B)$$

Из геометрии модели находим  $h_3^B = h_1^A$ ,  $h_4^B = h_2^A$ ,  $h_5^B = R_2 \sin(1.5\alpha)$ ,  $h_6^B = a \cos(\alpha/2)$ .  $\vec{S}_2$  - сила в ГТЭ-2. В точке F проходит также и первый ГТЭ-1, он прижимает фалангу 2 к зубу 2 двумя силами  $\vec{S}_3^a, \vec{S}_3^{np}$  равными  $\vec{S}_3$  по модулю и приложенными слева и справа от точки F, тогда их суммарное воздействие на точку F будет:  $\vec{S}_F = \vec{S}_3^a + \vec{S}_3^{np}$ ,  $S_F = 2S_3 \sin(\alpha/2)$  и это усилие направлено радиально к точке O,

$$N_2 = \frac{1}{h_3^B} \{ S_2 h_4^B - S_3 (h_6^B - h_3^B \sin(\alpha/2)) - N_3 h_5^B \}$$

тогда . Для равномерного захвата цилиндрического объекта должно выполняться условие  $N_2 = N_3$ . Найдем внутреннее усилие  $\bar{N}_1$ , которое действует в зубе 1. Оно возникает в точке  $D_1$  (зеленая стрелка) контакта зуба 1 и поверхности цилиндрического объекта при натяжении ГТЭ-1, ГТЭ-2 и ГТЭ-3. Рассмотрим равновесия фаланг 1, 2 и 3:

$$N_3 = \frac{1}{h_7^G} (S_3 h_8^G - S_2 h_{12}^G - S_1 h_{10}^G - N_1 h_9^G + (S_F - N_2) \cdot h_{11}^G + S_K h_7^G)$$

Из геометрии модели находим размеры  $h_7^G = h_1^A$ ,  $h_8^G = h_2^A$ ,  $h_9^G = h_{11}^G = R_2 \cos(\alpha/2)$ ,  $h_{10}^G = R_1$ ,  $h_{12}^G = h_6^B$ .  $\vec{S}_3$  - сила привода в

ГТЭ-3,  $S_K = 2S_2 \sin(\frac{\alpha}{2})$  - эта сила аналогична силе  $S_F$ . Для равномерного захвата объекта усилия  $N_3 = N_2 = N_1$ . В зубе  $D_4$ , лежащем на рукоятке 0, из условия равновесия усилий имеем:  $\bar{N}_4 = -\bar{N}_1 - \bar{N}_2 - \bar{N}_3$ . Значения  $\bar{N}'_1, \bar{N}'_2, \bar{N}'_3, \bar{N}'_4$  в симметричной нижней ветви G'-B'-A'-M 'в точках  $D'_1, D'_2, D'_3, D'_4$  захвата будут одинаковыми по величине  $\bar{N}_1, \bar{N}_2, \bar{N}_3, \bar{N}_4$  и зеркально-симметричными по отношению к оси OX соответственно.

Мы получили соотношения для статических усилий в плоской модели схвата. Однако плоская модель лишь показывает общие закономерности взаимосвязей усилий

двух пальцев с тремя фалангами с цилиндрическим объектом. В этой работе дана 3D модель с двумя пальцами. Сначала моделировали отдельный зуб на поверхности. Контакт зуба с поверхностью моделировался линией из точек (рис.2а). Сила, приложенная к зубу сверху, бралась равной 100н. Напряжения по Мизесу (рис.2б) и упругие перемещения (рис.2в) этой точечной линии получились некорректно большими. То есть, модель с точечной линией контакта зуба и поверхности объекта является некорректной, при расчете модели на Inventor'е.

Модель зуба была нами заменена на тонкую прямолинейную полоску (рис.3а), что реально отражает действительный контакт такого зуба с поверхностью объекта. Тогда 3D модель стала давать адекватные расчеты на жесткость (упругие перемещения) и прочность (расчетные усилия и моменты). На рис.3б показано распределение коэффициента запасов прочности (КЗП), слева на рисунке расположена цветовая шкала со значениями КЗП. То есть, такая модель получилась корректной с полосочной формой контакта двух тел на Inventor'е. Расчетные параметры 3D модели:  $R_1=45$  мм,  $R_2=59$  мм,  $R_3=$  ,  $AB=45$  мм,  $\alpha = 45^\circ$  ,  $a=5$  мм. Толщина фаланг бралась одинаковой для всех фаланг и равной 20мм. В расчетной модели брали контакт зубьев и цилиндра в виде тонкой полосы с размерами 20x2мм (рис.3а) и силы, приложенные к фалангам показаны там же.

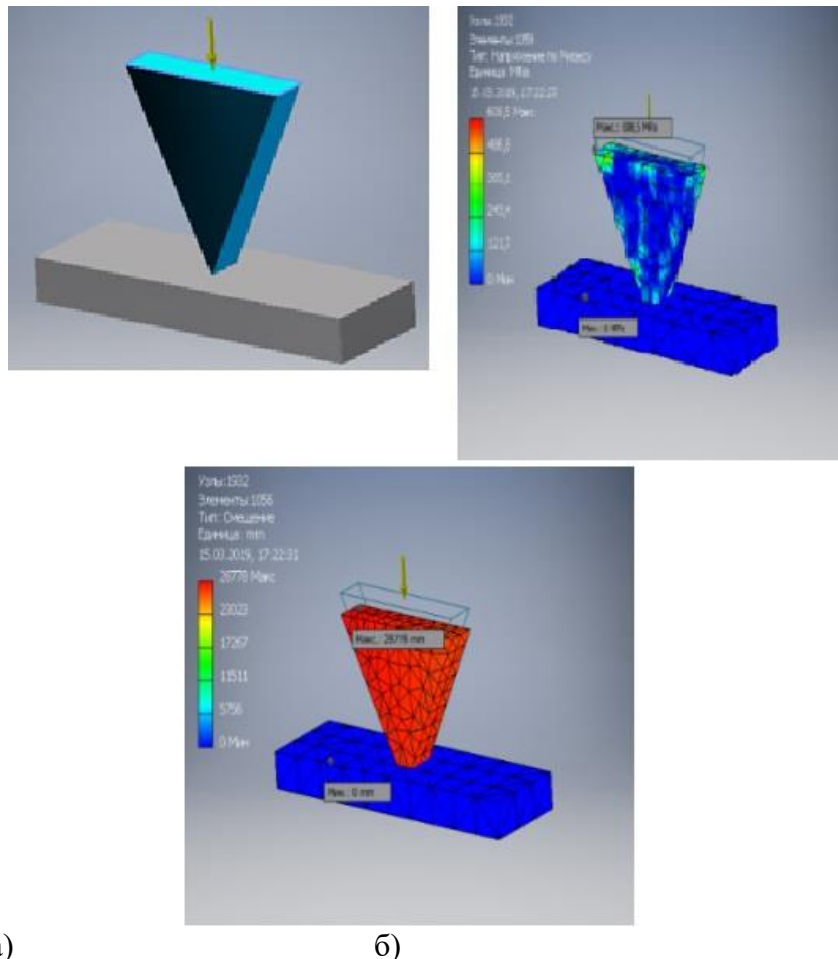
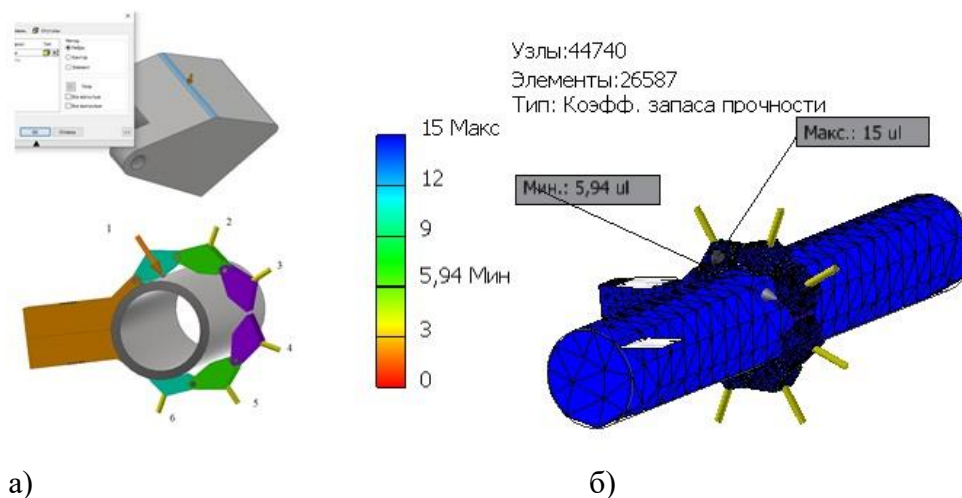


Рисунок 2 – Модель отдельно взятого зуба на некоторую поверхность



**Рисунок 3 – а) Моделирование сил, приложенных к флангам, б) Расчет запаса прочности 3D-модели**

### Выводы

В работе моделируется схват с тремя гибкими тяговыми элементами. Он разрабатывается для выполнения операций схватывания средствами робототехники, что позволит не только повысить производительность, но и взять на себя выполнение работ по ориентации. Здесь разработаны плоская модель схвата со статическими расчетами, показаны связь между реакциями в точках контакта зубьев схвата и захватываемого цилиндрического объекта, усилиями в трех гибких тяговых элементах и метрическими параметрами схвата. Взяв за основу плоскую модель, была разработана также 3D модель этого схвата на Inventor'e. Возникшая при разработке проблема контакта зубьев схвата и цилиндрической поверхности объекта была решена заменой теоретически прямой точечной линии контакта реальной узкой прямолинейной полоской на конце каждого зуба. Расчетная 3D модель схвата получилась корректной, что показывает соответствующая диаграмма. Полученная расчетная модель позволяет проводить расчеты на прочность и жесткость на Inventor'e, а также моделировать метрическими параметрами схвата и внешней нагрузкой для получения оптимальных размеров схвата и рассчитать усилия на приводах для получения допустимых усилий на зубьях схвата.

### Список использованных источников

- 1 Усенбеков Ж., Темирбеков Е.С., Каимов С.Т., Карасаев Б.А. Кандидат М. Анализ схватов манипулятора для перегрузки крупногабаритных грузов в швейной промышленности //Технология текстильной промышленности 2018. - Выпуск № 6 (378). - стр. 332-336.
- 2 Мохаммед А.Х. Задачи механики адаптивных схватов промышленных роботов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. С.-Петербург, 1993 г., 171 с.

### References

- 1 Usenbekov J., Temirbekov E.S., Kaimov, S.T., Karasaev B.A. Kandidat M. Analiz shvatov manipulätorä dlä peregruzki krupnogabaritnyh gruzov v šveinoi promyšlennosti //Tehnologia tekstilnoi promyšlennosti 2018. - Vypusk № 6 (378). - str. 332-336.
- 2 Mohammed A.H. Zadachi mehaniki adaptivnyh shvatov promyšlennyh robotov. Dissertasiä na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tehničkih nauk. S.-Peterburg, 1993.,171 s.