

УДК 681.5

DOI 10.52167/1609-1817-2022-121-2-387-401

Е. С. Темирбеков<sup>1</sup>, С. Жунисбеков<sup>2</sup>, Б. А. Карасаев<sup>1</sup>, Т. Р. Акимов<sup>1</sup>, Ә. Жауыт<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup> Академия логистики и транспорта, Алматы, Казахстан

<sup>3</sup> Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева, Алматы, Казахстан

E-mail: temirbekov@mail.ru

## РАЦИОНАЛЬНЫЙ ЗАХВАТ ОБЪЕКТА В ПРЕДЕЛАХ ЖЕСТКОСТИ

**Аннотация.** Сейчас существует множество различных конструкций схватов роботов-манипуляторов. В этой работе исследуется проблема равномерного схватывания в точках контакта объекта круглой или сферической формы (плоды и овощи) схватом. Сейчас для этого используются датчики давления, установленные на «пальцах» схвата. Они при определенном значении усилия в зоне контакта останавливают «пальцы» схвата. Однако нет такого универсального датчика, который оптимально реагирует на весь диапазон давлений от очень больших до мизерных значений. Поэтому каждый такой датчик давления имеет свой диапазон значений, они соответствуют номинальному режиму работы датчика, определенному заводом-изготовителем. Разрабатываемые здесь схваты предназначены для агросадоводческой продукции. С 1961 г. установлены международные стандарты для фруктов и овощей: средний диаметр продуктов садоводства - в диапазоне от 40 до 100 мм, вес - в диапазоне от 50 до 500 г. Форма этих продуктов приблизительно сферическая с некоторыми несущественными изменениями формы в лимонах и продолговатых помидорах. Механические свойства яблок, груш и томатов и др. были также измерены. То есть для каждого вида такой продукции должен быть определенный датчик с конкретным диапазоном изменения усилий. К тому же этот схват должен в зонах контакта всеми своими «пальцами» создавать одинаковые усилия для равномерного схватывания. Для исследования этих проблем здесь анализируются двухфаланговые и трехфаланговые схваты, имеющие адаптацию к поверхности плода.

**Ключевые слова.** Роботов-манипуляторов, сферической формы, схват, элементов.

### Введение.

При выборе схем и подборе метрических и динамических параметров адаптивных схватов для надежного удержания объекта ими, необходимо учитывать следующее:

- конфигурацию, параметры схвата и захватываемого им объекта;
- силы и моменты, действующие в схвате и объекте;
- упругие характеристики материала элементов схвата и объекта.

Будем предполагать линейную зависимость усилий и упругих перемещений. Очевидно, чем больше точек контакта схвата с объектом, тем лучше удерживается объект в схвате при прочих равных условиях. Это количественно показано в работе [1] для объектов с круглым сечением. Из нее видно, что чем больше точек захвата, тем меньше

минимальная сила захвата в каждой точке контакта схвата и объекта схватывания, необходимая для его стабильного удержания. При этом в работе [1] предполагалось, что все силы в точках контакта имеют одинаковое значение. Однако на практике это условие выполняется только для схватов с двумя точками контакта с объектом схватывания. Для схватов с тремя и более точками контакта это условие в общем случае не выполняется. Здесь этот вопрос рассматривается для адаптивных схватов, имеющих более двух точек контакта с объектом схватывания.

Также, при переносе схваченного объекта вследствие действия сил инерции могут возникать его проскальзывание и смещение в схвате. Чтобы этого не происходило, нужно увеличивать усилие захватывания. Если же усилие схватывания окажется больше допустимого, то произойдет деформация, превышающая допустимую, а если усилие будет слишком малым, то при переносе произойдет проскальзывание объекта схватывания под действием сил инерции. Из условий надежного удерживания объекта круглой формы в схвате без проскальзывания вытекают ограничения снизу на усилие захватывания. Предполагается, что сила инерции  $\varphi$  направлена по оси объекта в виде цилиндра, который вертикален. Тогда возможно его проскальзывание объекта в схвате будет по этой оси. Условие непроскальзывания [1]:

$$P \frac{G+\varphi}{4f \min}, P \frac{G+\varphi}{6f \min}, P \frac{G+\varphi}{8f \min},$$

где  $f$  - коэффициент трения между точками контакта и объектом;

$G$  - вес объекта;

$\varphi$  - сила инерции;

4, 6, 8 – число точек контакта схвата с объектом.

В схватах, применяемых для сбора и сортировки овощей и плодов адаптивная конструкция схвата имеет первостепенное значение, это нужно для того, чтобы гарантировать равномерное распределение контактного усилия по их поверхности. С точки зрения кинематики «пальцы» с двумя, а тем более тремя фалангами с двух или трёх сторон объекта обеспечивают захват цилиндрической или сферической поверхности с учетом незначительных ее возможных изъянов за счет того, что каждый «палец» имеет по несколько степеней свободы (вращений относительно шарниров) и поэтому адаптируется к неровностям приблизительно круглой поверхности схватываемого предмета. На такую схему схвата подана заявка на патент РК на полезную модель [2]. Здесь решается проблема подбора таких усилий в гибких тяговых элементах (в приводах), которые обеспечивают приближенно равномерное сжатие в точках контакта объекта со схватом.

### Материалы и методы.

Модель двухфалангового адаптивного схвата. Он назван адаптивным потому, что каждый из пальцев имеет две фаланги, соединенный шарнирами и соответственно по две степени свободы. И если поверхность захватываемого тела не сильно отличается от окружности или сферы, то за счет имеющихся степеней свободы фаланг адаптируются к этой поверхности. Фаланги схвата имеют треугольный в профиле вид и симметричны относительно радиальной линии (Рис.1а). На окружности радиуса  $R_2$  расположены шарниры А, В, А', В' и точки М и М'. Радиус окружности сечения схватываемого объекта  $R_1$ , причем выполняется соотношение  $R_2 > R_1$ . Гибкий тяговый элемент 1 (ГТЭ-1)

закреплен в точках E и E', от точки E он проходит через точки F и K и далее идет к приводу-1; от точки E' он проходит через точки F' и K' и далее идет также к приводу-1. Гибкий тяговый элемент 2 (ГТЭ-2) закреплен в точках F и F', от точки F он проходит через точку K и далее идет к приводу-2; от точки F' он проходит через точку K' и далее идет также к приводу-2. В точках D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>, D'<sub>1</sub>, D'<sub>2</sub>, D'<sub>3</sub> расположены зубья схвата, ГТЭ-1 и ГТЭ-2 должны быть максимально приближены к окружности радиуса R<sub>1</sub> для создания большего усилия в зубьях. Из условия некасания ГТЭ-1 и ГТЭ-2 к этой окружности сечения детали цилиндрической формы имеем (R<sub>1</sub>+a)cos(α/2)>R<sub>1</sub>, или a > R<sub>1</sub> /cos(α/2)-R<sub>1</sub>, где a=ED<sub>1</sub>=E'D'<sub>1</sub>=FD<sub>2</sub>=F'D'<sub>2</sub> и α – центральный угол (рис.1а). Пусть α=60°, тогда охват схватываемого объекта «пальцами» вместе с фрагментом рукоятки будет равным окружности.

Найдем внутреннее усилие N<sub>1</sub>, которое возникает в «зубе» 1 (точка D<sub>1</sub>). Из условия равновесия моментов сил ∑M<sub>Ai</sub>=0 (рисунок 1а) N<sub>1</sub> =  $\frac{S_1 \cdot h_2^A}{h_1^A}$ , где h<sub>1</sub><sup>A</sup> = R<sub>2</sub> sin( $\frac{\alpha}{2}$ ) - плечо момента усилия N<sub>1</sub>; h<sub>2</sub><sup>A</sup> = R<sub>2</sub> - (R<sub>1</sub> + a)cos( $\frac{\alpha}{2}$ ) - плечо момента усилия S<sub>1</sub> - внешнее усилие от ГТЭ-1.

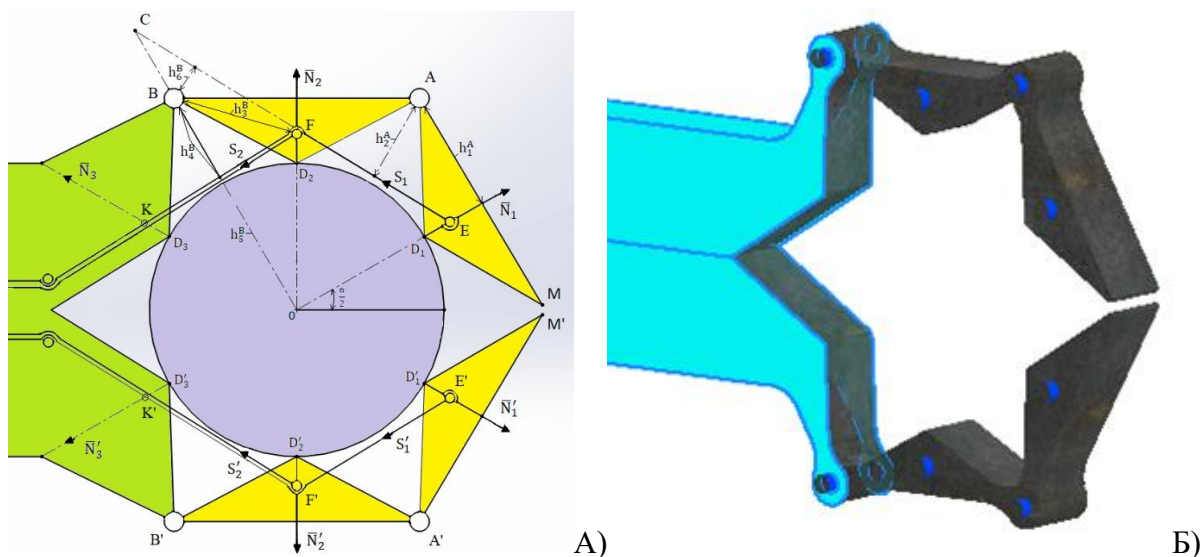


Рисунок 1 - Плоская схема и 3D-модель двухфалангового схвата

Найдем внутреннее усилие N<sub>2</sub>, которое возникает в зубе 2 (точка D<sub>2</sub>). Рассмотрим условие равновесия моментов сил ∑M<sub>Bi</sub> = 0 (рис.1а). От ГТЭ-1, закрепленного в точке E, в точке F возникает две реакции, равные по величине S<sub>1</sub>. Они направлены: одна от F к E, вторая от F к K. Их сумма по модулю равна S<sub>F</sub> = 2S<sub>1</sub> · sin( $\frac{\alpha}{2}$ ) и она направлена от точки F к точке O. Эта сила создает момент относительно точки B, прижимающий фалангу 2 к объекту схватывания. Из условия равновесия имеем:

$$N_2 h_3^B - S_2 h_4^B + S_1 h_6^B + N_1 h_5^B - S_F h_3^B = 0$$

$S_2$  - внешнее усилие от ГТЭ-2;  $h_3^B = h_1^A$ ,  $h_4^B = h_2^A$ ;  $h_5^B = R_2 \sin\left(3\frac{\alpha}{2}\right)$  - плечо момента от усилия  $\bar{N}_1$ . Найдем  $h_6^B$  - плечо момента от усилия  $\bar{S}_1$  относительно точки В. Найдем координаты точек Е, F, С:

$$X_E = (R_1 + a)\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right), Y_E = (R_1 + a)\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right),$$

$$X_F = 0, Y_F = R_2 - (R_1 + a)\sin\left(3\frac{\alpha}{2}\right), X_C = Y_C \cdot \frac{X_B}{Y_B}, Y_C = \frac{Y_F X_E}{X_E - X_B Y_E + X_B Y_F},$$

$$\angle OCE = 180^\circ - 90^\circ - 2\frac{\alpha}{2} = 30^\circ.$$

Длина  $BC = Y_C - R_2$ , тогда  $h_6^B = BC \sin(\angle OCE)$ . При этом сила  $\bar{N}_2$  равна:

$$N_2 = \frac{1}{h_5^B} (S_2 h_4^B - S_1 h_6^B - N_1 h_5^B + S_F h_3^B).$$

Усилие  $N_1$  должно быть по величине равно усилию в зубе 1 для равномерного обжатия объекта, то есть  $N_2 = N_1$ . Их направления нормальны к поверхности объекта в точках их приложения. В зубе  $D_3$ , лежащем на рукоятке, связанной шарнирно с ближайшей фалангой, из условия равновесия усилий для всего объекта схватывания и симметрии относительно точки О, имеем:  $N_3 = N_1$ . Все эти реакции направлены по нормальям к соответствующим точкам объекта схватывания (к окружности радиуса  $R_1$ ). Тогда из векторного условия равновесия усилий и симметрии схвата относительно продольной оси, имеем:  $N_1' = N_1$ ,  $N_2' = N_2$ ,  $N_3' = N_3$ .

Таким образом, получили соотношения для статических усилий в плоской модели двухпальцевого двухфалангового схвата. Возьмем в качестве модельного примера параметры плоской схемы  $R_1 = 60$  мм,  $R_2 = 100$  мм,  $\alpha = 60^\circ$ ,  $a = 15$  мм. В таблице 1 и на рисунке 2 показаны зависимости расчетных реакций  $N_1, N_2, N_3, N_1', N_2', N_3'$  от задаваемых значений  $S_1$  и  $S_2$  на приводах, передаваемых ГТЭ-1 и ГТЭ-2:

Таблица 1 - Значения сил  $S_1, S_2$  и реакций  $N_1, N_2, N_3, N_1', N_2', N_3'$

$S_1$	$S_2$	$N_1 = N_1'$	$N_2 = N_2'$	$N_3 = N_3'$
100	20	70.09	71.47	70.09
200	37	140.19	140.84	140.19
300	54	210.28	210.21	210.28
400	71	280.38	279.58	280.38
500	89	350.48	349.65	350.48

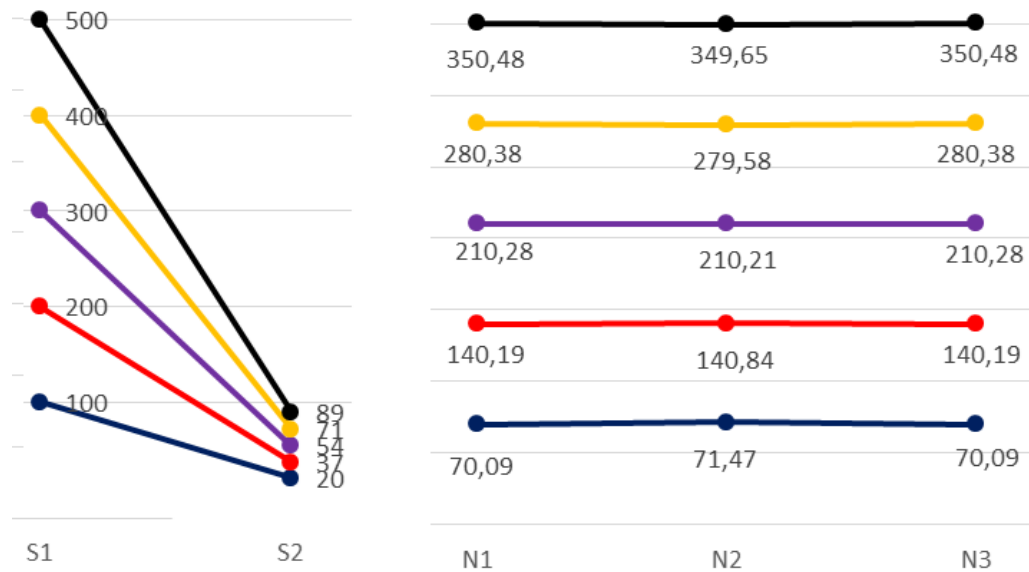


Рисунок 2 - Диаграммы сил  $S_1, S_2$  и реакций  $N_1, N_2, N_3, N_1', N_2', N_3'$

Из таблицы 1 и рисунка 2 видно, что если схватываемый объект требует в шести точках контакта со схватом приблизительное усилия в 70 н, то усилие в приводе-1 должно быть  $S_1=100$  н, а в приводе-2 оно должно быть  $S_2=20$  н. Эти значения  $S_1$  и  $S_2$  нашли методом подбора значений. Из таблицы 1 также видна приблизительно линейная зависимость между значениями строк этой таблицы. Отсюда следует, что если нужно другое, более или менее, слабое или сильное обжатие, то найти его не составляет труда умножением найденной строки значений на нормирующий множитель, который равен отношению искомого сжатия к найденному.

Плоская модель показывает общие закономерности взаимосвязей усилий «пальцев» схвата с круглым объектом схватывания. Рассмотрим 3D модель данного схвата, расчетные параметры 3D модели: метрические параметры плоской схемы; толщина фаланг бралась одинаковой для всех фаланг и равной 20мм. В расчетной модели брали контакт зубьев и цилиндра в виде тонкой полосы с размерами 20x2 мм.

На рис.3-6 даны (на индикаторах) значения напряжений и упругих перемещений в точках линий контактов зубьев 3D моделей схвата и схватываемого объекта. Картина усилий в плоской схеме и значений напряжений по Мизесу 3D моделей показывают определенное сходство в равномерности распределения этих параметров. Слева на рис.3-6 расположены цветовые шкалы со значениями соответствующих параметров, расчет проводился конечно-элементным моделированием на Inventor'e.

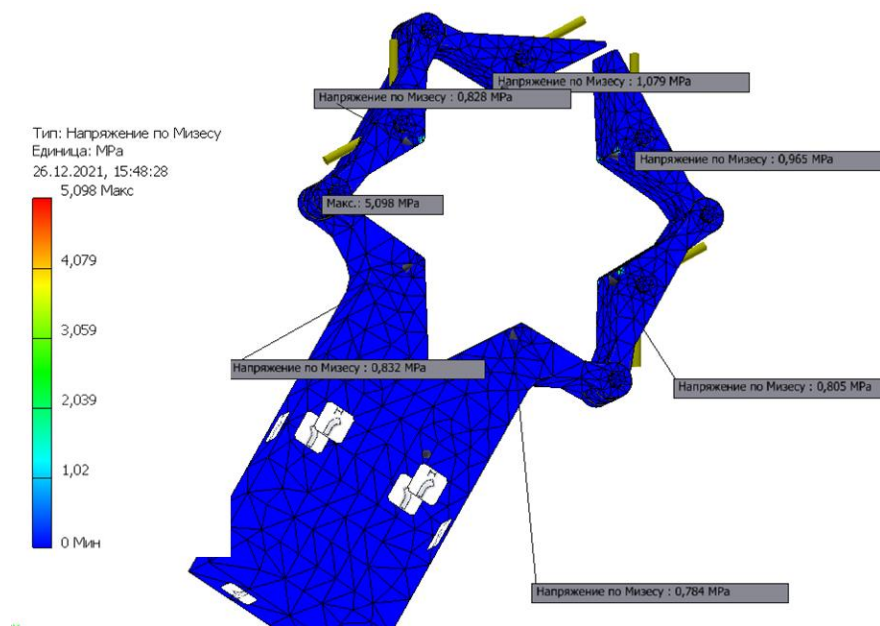


Рисунок 3 – Напряжения по Мизесу в точках контакта схвата

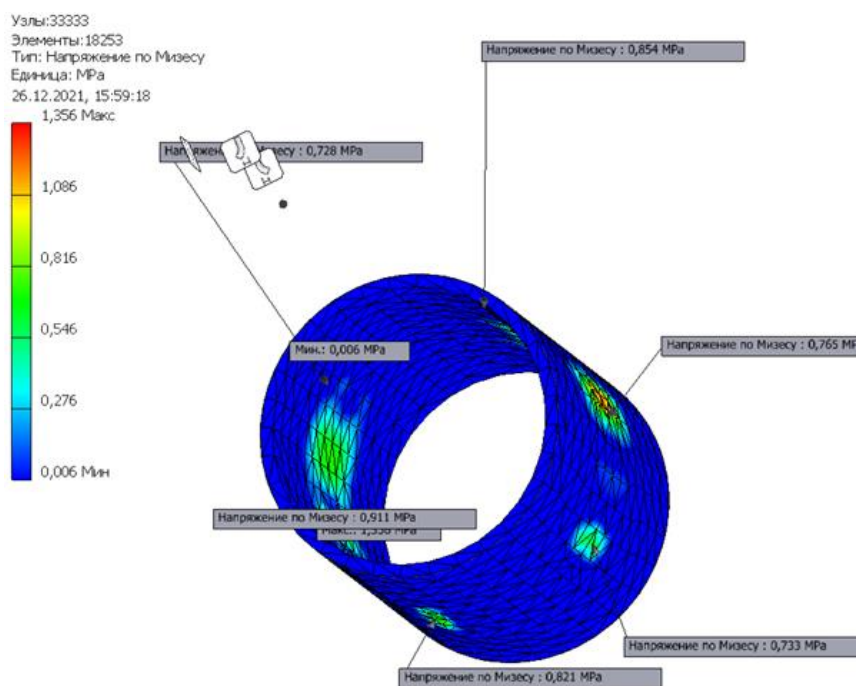


Рисунок 4 – Напряжения по Мизесу в точках контакта схватываемого объекта

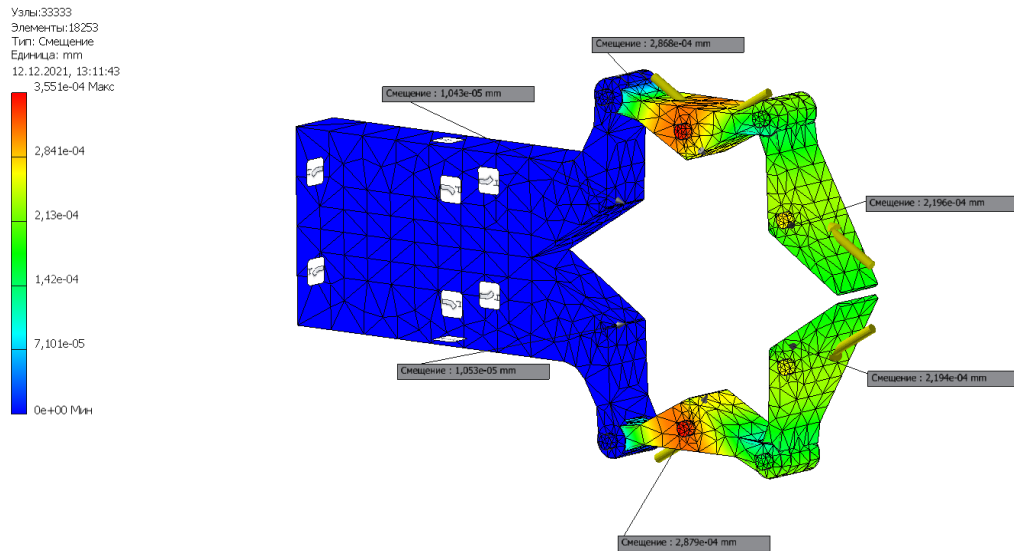


Рисунок 5 – Упругие перемещения в точках контакта схвата

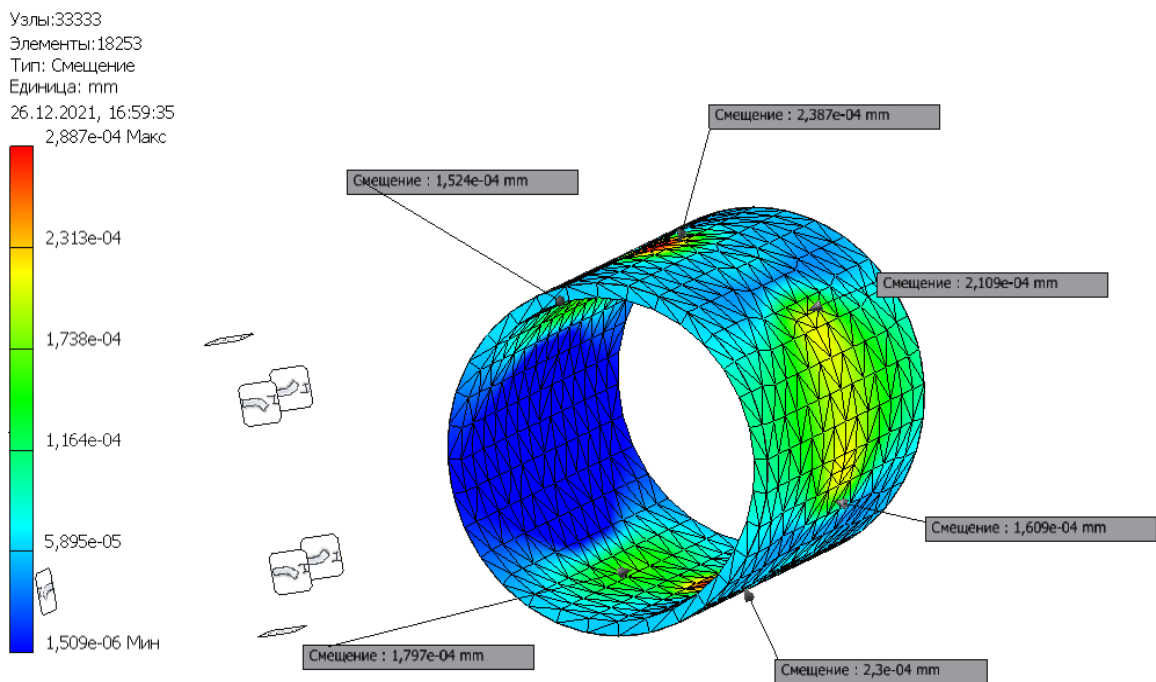


Рисунок 6 – Упругие перемещения в точках контакта схватываемого объекта

Модель трехфалангового адаптивного схвата. Он назван адаптивным потому, что каждый из пальцев имеет по три степени свободы (рисунок 7). Если поверхность захватываемого тела не сильно отличается от окружности или сферы, то хват за счет имеющихся этих трех степеней свободы в каждой фаланге адаптируется к этой поверхности. Модель трехфалангового схвата была предложена в работе [3,4]. Получен ряд

соотношений, связывающих эти параметры и распределение усилий при равномерном захвате круглого цилиндрического предмета. Фаланги схвата были приняты в виде четырехугольников, но можно их сделать в виде треугольников как в двухфаланговой схеме схвата, это не имеет принципиального значения, но лишь может сказаться на конструктивных параметрах схвата.

Здесь рассмотрена более компактная, на наш взгляд, модель, в которой фаланги «пальцев» представлены в виде треугольников (рисунок 7). На окружности радиуса  $R_2$  находятся шарниры  $G, B, A, G', B', A'$  и точки  $M, M'$ , дуги  $\overline{GB}, \overline{BA}, \overline{AM}, \overline{GB'}, \overline{BA'}, \overline{AM'}$  этой окружности опираются на центральные углы, равные  $\alpha$ .

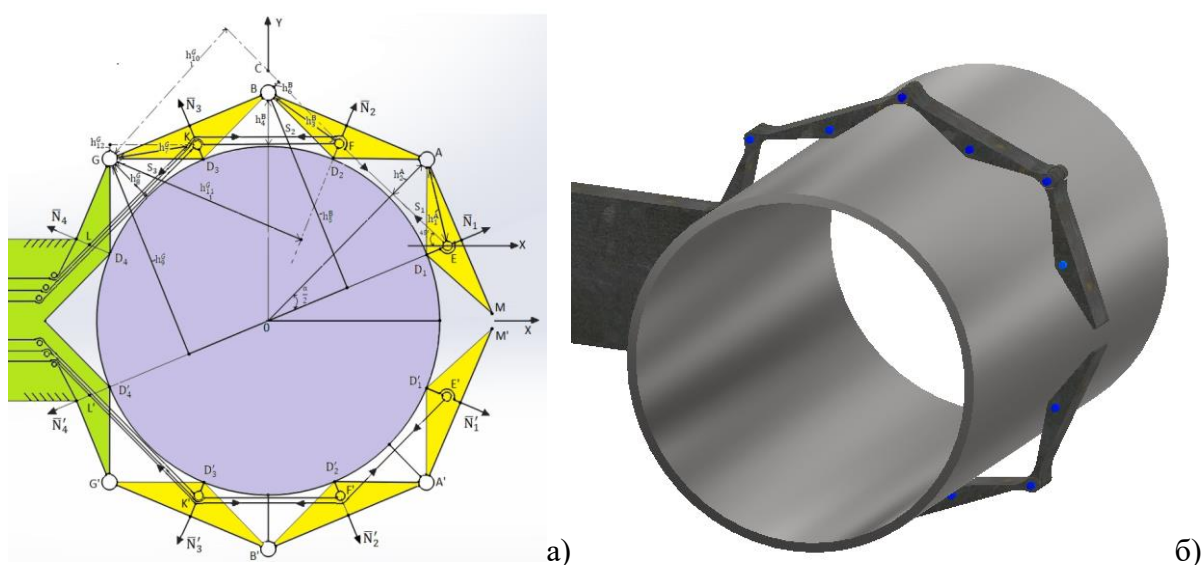


Рисунок 7 - Плоская схема и 3D-модель трехфалангового схвата

Радиус окружности сечения схватываемого объекта  $R_1$ , причем  $R_2 > R_1$ . ГТЭ-1 закреплен в точках  $E$  и  $E'$ , от точки  $E$  он проходит через точки  $F, K, L$  и далее идет к приводу-1; от точки  $E'$  он проходит через точки  $F', K', L'$  и далее идет также к приводу-1. ГТЭ-2 закреплен в точках  $F$  и  $F'$ , от точки  $F$  он проходит через точки  $K, L$  и далее идет к приводу-2; от точки  $F'$  он проходит через точки  $K', L'$  и далее идет также к приводу-2. Гибкий тяговый элемент 3 (ГТЭ-3) закреплен в точках  $K$  и  $K'$ , от точки  $K$  он проходит через точку  $L$  и далее идет к приводу-3; от точки  $K'$  он проходит через точку  $L'$  и далее идет также к приводу-3. В точках  $D_1, D_2, D_3, D_4, D'_1, D'_2, D'_3, D'_4$  расположены зубья схвата, симметрично расположенные относительно продольной линии схвата. Из условия некасания ГТЭ-1, ГТЭ-2 и ГТЭ-3 к окружности сечения схватываемого объекта цилиндрической формы имеем, получим  $(R_1 + a) \cos(\alpha/2) > R_1$ , или  $a > R_1 / \cos(\alpha/2) - R_1$ , где  $\alpha$  – центральный угол (рис.7). ГТЭ-1, ГТЭ-2 и ГТЭ-3 должны быть максимально приближены к этой окружности для создания большего усилия в зубьях. Пусть  $\alpha = 45^\circ$ , тогда охват окружности объекта схватывания всеми фалангами «пальцев» будет полным. Найдем

внутреннее усилие  $\bar{N}_1$ , которое возникает в «зубе» 1 (точка  $D_1$ ). Из условия равновесия моментов сил  $\sum M_{Ai} = 0$  получим  $N_1 = \frac{S_1 h_2^A}{h_1^A}$ , где  $h_1^A = R_2 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$  плечо момента усилия  $N_1$ ;  $h_2^A = R_2 - (R_1 + a) \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$  плечо момента  $S_1$ .

Найдем внутреннее усилие  $N_2$ , которое возникает в зубе 2 (точка  $D_1$ ). Рассмотрим условие равновесия моментов сил  $\sum M_{Bi} = 0$  (рис.7а). От закрепленной в точке Е гибкой связи в точке F возникает две реакции, равные по величине  $S_1$ , они направлены одна от F к Е, вторая от F к К. Их сумма равна  $S_F = 2S_1 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$  и она направлена от точки F к точке О и создает момент, прижимающий фалангу 2 к объекту схватывания. Из условия равновесия:

$$N_2 h_3^B - S_2 h_4^B + S_1 h_6^B + N_1 h_5^B - S_F h_3^B = 0.$$

Здесь  $\bar{S}_2$  – внешнее усилие от ГТЭ-2;  $h_3^B = h_1^A$ ,  $h_4^B = h_2^A$ ;  $h_5^B$  – плечо момента усилия  $\bar{N}_1$ ;  $h_6^B = R_2 \sin\left(3\frac{\alpha}{2}\right)$ . Найдем  $h_6^B$  – плечо момента усилия  $\bar{S}_1$  относительно В, для этого определяем точки Е, F, С:  $X_E = (R_1 + a) \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ ,  $Y_E = (R_1 + a) \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ ,  $X_F = (R_1 + a) \cos\left(3\frac{\alpha}{2}\right)$ ,  $Y_F = (R_1 + a) \sin\left(3\frac{\alpha}{2}\right)$ ,  $X_C = 0$ ,  $Y_C = Y_E - \frac{X_E(Y_F - Y_E)}{X_F - X_E}$ .  $\angle OCE = 180^\circ - 90^\circ - 2\frac{\alpha}{2} = 45^\circ$ . Длина  $BC = Y_C - R_2$ , тогда  $h_6^B = BC \sin(\angle OCE)$ . При этом сила  $\bar{N}_2$  по модулю равна  $N_2 = \frac{1}{h_3^B} (S_2 h_4^B - S_1 h_6^B - N_1 h_5^B + S_F h_3^B)$ . Усилие  $N_2$  должно быть равно по модулю усилию в зубе 1, то есть  $N_2 = N_1$ .

Найдем внутреннее усилие  $\bar{N}_3$ , которое возникает в зубе 3, точка  $D_3$  (рис.7а). Рассмотрим условие равновесия моментов сил  $\sum M_{Gi} = 0$ . В точке F возникают две реакции, равные по величине  $S_1$ . Они направлены: одна от F к Е, вторая от F к К. Их сумма равна  $S_F = 2S_1 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ , и она направлена от точки F к точке О. В точке К также возникают две реакции, равные по величине  $S_1$ . Они направлены: одна от К к F, вторая от К к L. Их сумма равна  $S_{K1} = 2S_1 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$  и она направлена от точки К к точке О. В точке К возникают две реакции, равные по величине  $S_2$  и направленные – одна от К к F, вторая – от К к L. Их сумма равна  $S_{K2} = 2S_2 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ , и она направлена от точки К к точке О. Они создают момент, прижимающий фалангу в точке К к объекту схватывания. Из условия равновесия получим:

$$N_3 h_7^G - S_3 h_8^G + S_1 h_{10}^G + N_1 h_9^G + S_2 h_{12}^G + N_2 h_{11}^G - S_{K1} h_7^G - S_{K2} h_7^G = 0,$$

где  $h_7^G = h_3^B = h_1^A$ ,  $h_{12}^G = h_6^B$ ,  $h_8^G = h_4^B = h_2^A$ ,  $h_{11}^G = h_9^B = h_5^B = R_2 \sin\left(3\frac{\alpha}{2}\right)$ ,  $S_3$  – внешнее усилие от ГТЭ-3. Найдем  $h_{10}^G$  – кратчайшее расстояние от точки G до линии, проходящей через точки Е и F в системе координат XOY:  $h_{10}^G = \left| \frac{A_0 X_G + B_0 Y_G + C_0}{\sqrt{A_0^2 + B_0^2}} \right|$ , где

$A_0, B_0, C_0$  коэффициенты уравнения прямой, проходящей через точки E и F. Тогда усилие  $\bar{N}_3$  по модулю будет равно:

$$N_3 = \frac{1}{h_7^G} (S_3 h_8^G - S_1 h_{10}^G - N_1 h_9^G - S_2 h_{12}^G - N_2 h_{11}^G + S_{K1} h_7^G + S_{K2} h_7^G)$$

усилие  $N_3$  должно быть также равно усилию в зубе 1, то есть  $N_3 = N_1$ .

В зубе  $D_4$ , из условия векторного равновесия усилий и симметрии объекта схватывания находим  $N_4 = N_1$ .

Все эти реакции направлены по нормальям к соответствующим точкам объекта схватывания (к окружности радиуса  $R_1$ ), тогда из векторного условия равновесия усилий и симметрии схвата относительно продольной оси, имеем:  $N_1' = N_1$ ,  $N_2' = N_2$ ,  $N_3' = N_3$ ,  $N_4' = N_4$  (рис.7а). Возьмем параметры для модельного примера:  $R_1 = 190\text{мм}$ ,  $R_2 = 230\text{мм}$ ,  $\alpha = 45^\circ$ ,  $a = 10\text{мм}$ . В таблице 2 и на рисунке 8 показаны зависимости реакций  $N_1, N_2, N_3, N_4, N_1', N_2', N_3', N_4'$  от задаваемых значений  $S_1, S_2, S_3$  на приводах, передаваемых ГТЭ-1, ГТЭ-2 и ГТЭ-3:

Таблица 2 -  $S_1, S_2, S_3$  и  $N_1, N_2, N_3, N_4, N_1', N_2', N_3', N_4'$

$S_1$	$S_2$	$S_3$	$N_1 = N_1'$	$N_2 = N_2'$	$N_3 = N_3'$	$N_4 = N_4'$
55	133	500	28.2	28.4	28.5	28.2
110	266	1001	56.5	56.7	56.6	56.5
165	398	1501	84.7	84.6	84.4	84.7
220	532	2001	113.03	113.48	113.75	113.03
275	665	2502	141.2	141.8	141.8	141.2

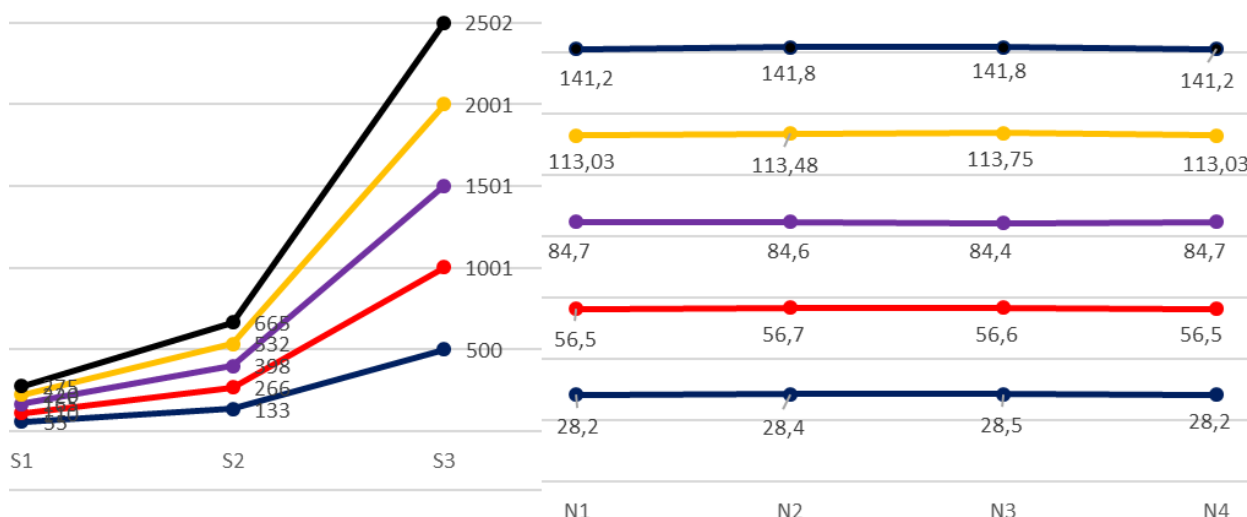


Рисунок 8 - Диаграммы сил  $S_1, S_2, S_3$  и  $N_1, N_2, N_3, N_4, N_1', N_2', N_3', N_4'$

Из таблицы 2 и рисунка 8 видно, что если схватываемый объект требует в восьми точках контакта со схватом приблизительное усилие в 28н, то усилие в приводе-1 должно быть  $S_1=55н$ , в приводе-2 оно должно быть  $S_2=133н$ , в приводе 3 оно должно быть 500н. Эти значения  $S_1, S_2, S_3$  находят методом их подбора. Из таблицы 2 также видна приблизительно линейная зависимость между значениями строк этой таблицы. Отсюда следует, что если нужно другое, более или менее, слабое или сильное обжатие, то найти его не составляет труда умножением найденной строки значений на нормирующий множитель, который равен отношению искомого сжатия к найденному.

### Результаты исследования.

Плоская модель показывает общие закономерности взаимодействия «пальцев» схвата с круглым объектом схватывания. Рассмотрим 3D модель данного схвата, расчетные параметры 3D модели: метрические параметры плоской схемы; толщина фланг бралась одинаковой для всех фланг и равной 20мм, в расчетной модели брали контакт зубьев и цилиндра в виде тонкой полосы с размерами 20x2 мм. На рис.9-12 даны (на индикаторах) значения напряжений и упругих перемещений в точках схвата и схватываемого объекта. Картина усилий в плоской схеме и напряжений по Мизесу 3D модели здесь также показывают определенное сходство в равномерности распределения этих параметров. Слева на рис.9-12 расположены цветные шкалы со значениями соответствующих параметров, расчет проводился конечно-элементным моделированием на Inventor'e.

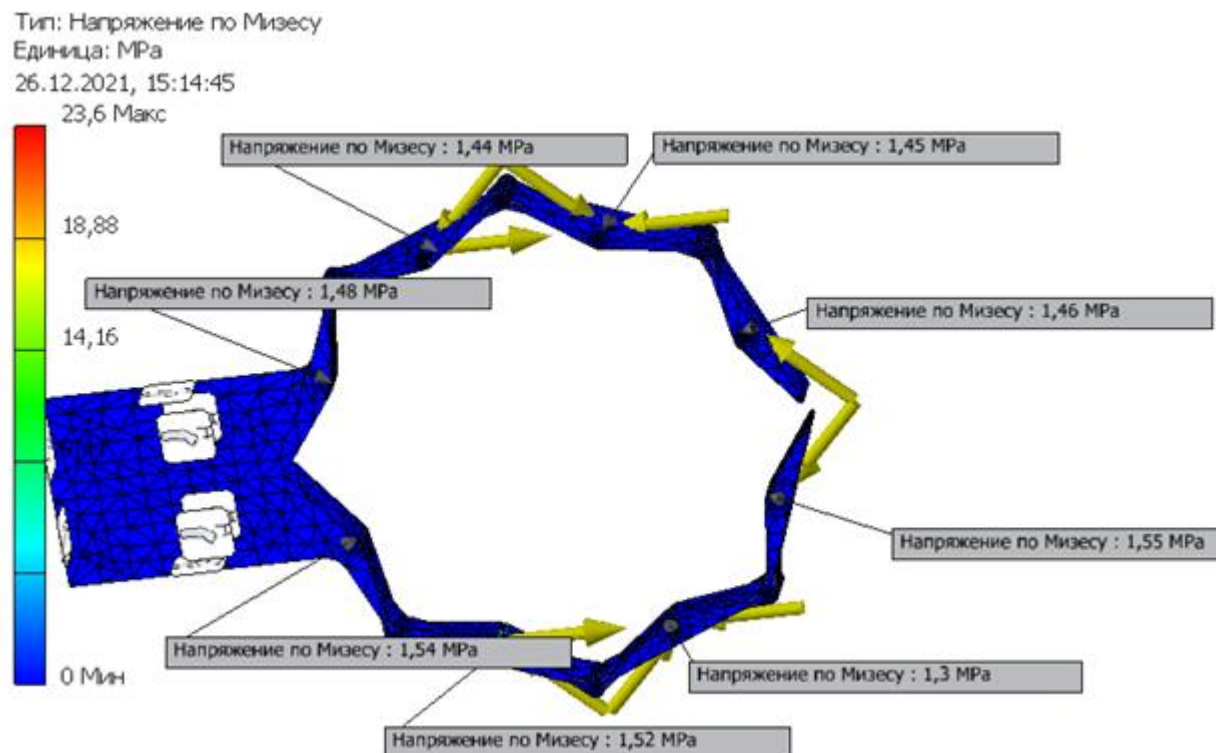


Рисунок 9 – Напряжения по Мизесу в точках контакта схвата

Узлы:50694  
Элементы:26172  
Тип: Напряжение по Мизесу  
Единица: МПа  
26.12.2021, 16:31:22  
7,625 Макс

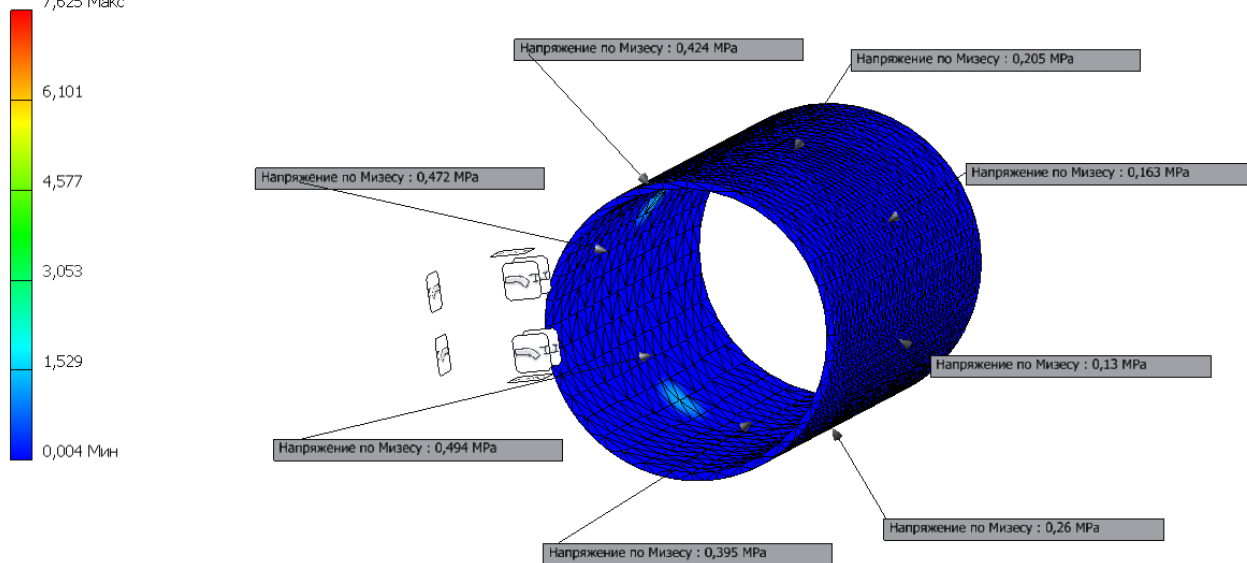


Рисунок 10 – Напряжения по Мизесу в точках контакта схватываемого объекта

Узлы:50694  
Элементы:26172  
Тип: Смещение  
Единица: mm  
26.12.2021, 16:47:40  
0,004162 Макс

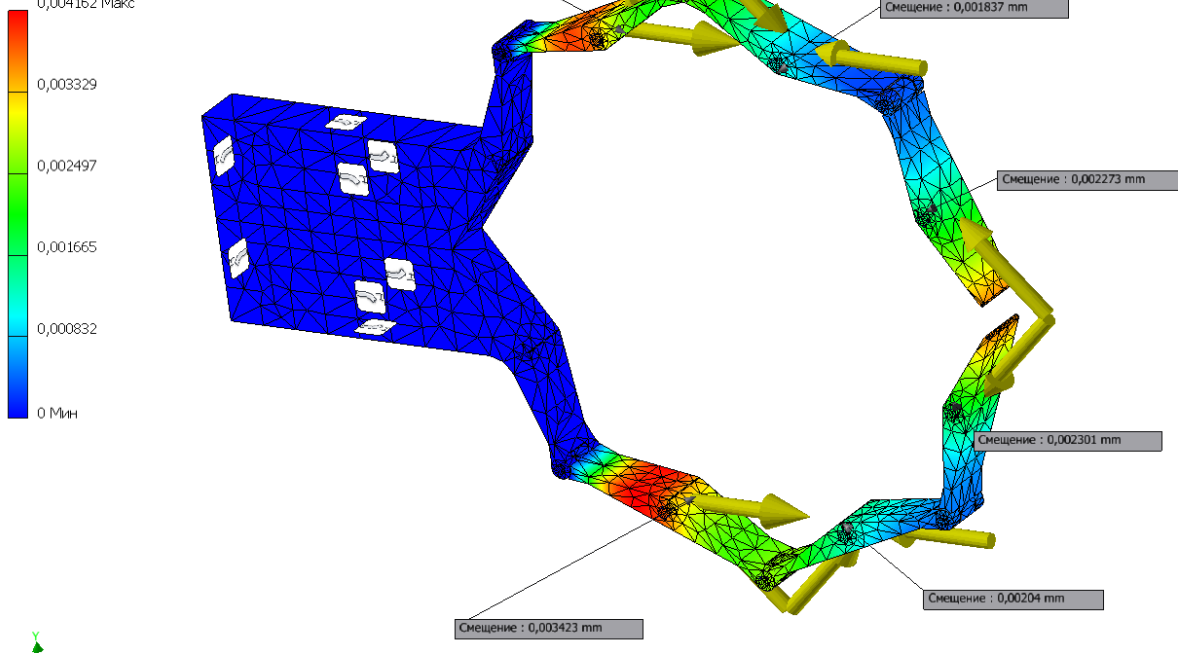


Рисунок 11 – Упругие перемещения в точках контакта схвата

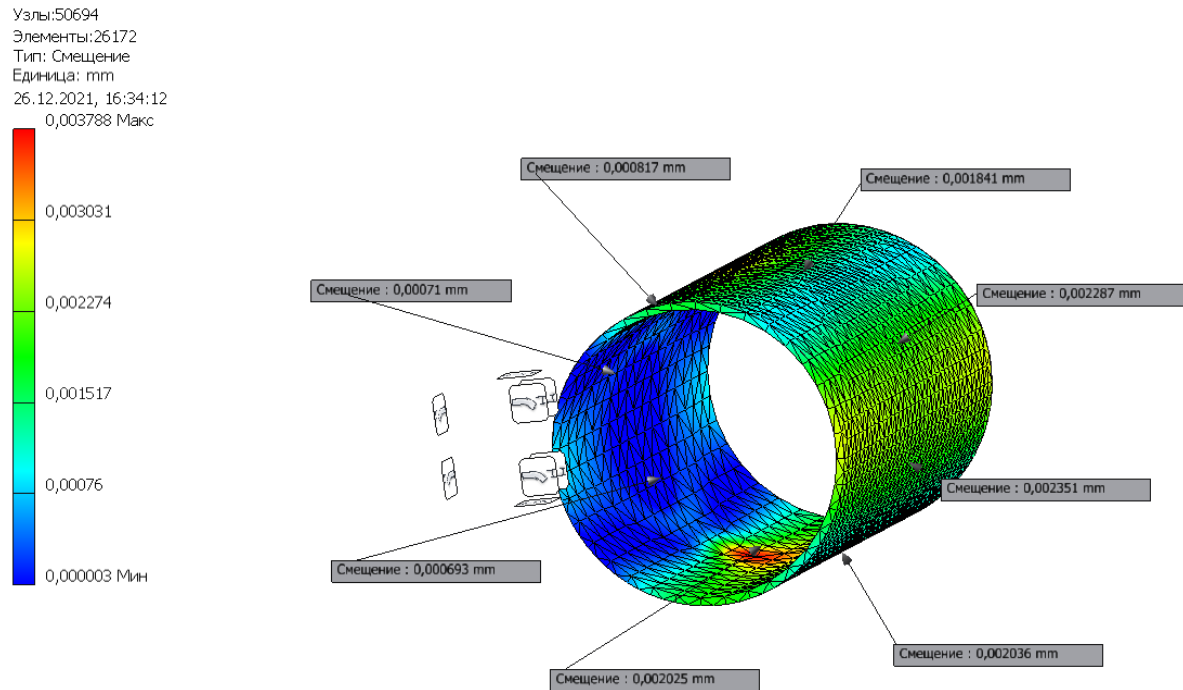


Рисунок 12 – Упругие перемещения в точках контакта схватываемого объекта

### Выводы.

В большинстве научных публикаций, посвященных исследованию схватов в основном затрагиваются вопросы их структуры, конструкции и управления. Здесь рассматриваются схваты с точки зрения критериев адаптивности и оптимального распределения усилий в схвате. Рассмотрены плоские схемы и 3D модели двухфалангового и трехфалангового двухпальцевых схватов. Показана их адаптивность к форме, близкой к круговому цилиндру и сфере. Показаны условия, при которых происходит приближенное равномерное сжатие объекта в шести и восьми точках контакта двухфалангового и трехфалангового двухпальцевых схватов. Несомненна практическая значимость данного подхода, так как агропродукция (помидоры, абрикосы и др.) может быть очень чувствительна даже к незначительным деформациям, а равномерное номинальное сжатие позволяет уменьшить их. В качестве прогноза развития этого подхода можно, например, было бы расширить его для тех же схватов, имеющих в каждом пальце свои степени свободы, то есть в данных примерах это четыре и шесть степеней свободы.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Мохаммед А. Х. Задачи механики адаптивных схватов промышленных роботов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. - С.-Петербург, 1993, 171 с.
- [2] Отчет о научно-исследовательской работе «Создание и разработка инновационного робота с адаптивным исполнительным механизмом схвата манипулятора

для перегрузки цилиндрических и сферических грузов». Алматы, 2021, № госрегистрации АР09562257

[3] Temirbekov Y. Grasps of robot manipulator when overloading solid high-radioactive elements and their calculation. Mechanics and Machine Science, p. 316-324 <http://doi.org/10.1007/978-3-030-03320-0>

[4] Temirbekov Y. A gripper mechanism to automate overload process for fuel elements. Mechanisms and Machine Science, Volume 66, 2019, p. 118-128.

**Ербол Темірбеков**, т.ғ.д., профессор, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан, [temirbekov@mail.ru](mailto:temirbekov@mail.ru)

**Сейітбек Жүнісбеков**, т.ғ.к., ассистент профессор, Логистика және көлік академиясы, Алматы, Қазақстан, [zhunisbek.s@mail.ru](mailto:zhunisbek.s@mail.ru)

**Байрон Карасаев**, докторант, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан, [karasaevb@gmail.com](mailto:karasaevb@gmail.com)

**Талипжан Акимов**, магистрант, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан, Email: [talipzhan.a@mail.ru](mailto:talipzhan.a@mail.ru)

**Әлғазы Жауыт**, PhD, профессор, Ф. Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан, [ali84jauit@mail.ru](mailto:ali84jauit@mail.ru)

## ҚАТТЫЛЫҚ ШЕГІНДЕ НЫСАНДЫ ҰТЫМДЫ ҰСТАУ

**Аңдатпа.** Қазіргі таңда робот-манипуляторлардың көптеген түрі кездеседі. Бұл жұмыста дөңгелек немесе сфералық нысандарды (жемістер мен көкөністер) байланыс беттерінде біркелкі орнату мәселесі зерттеледі. Ол үшін тұтқаның «саусақтарына» орнатылған қысым датчиктері қолданылады. Олар байланыс аймағындағы белгілі бір күштердің мәндерінде ұстап алу «саусақтарымен» тоқтатады. Алайда, қысымның өте үлкен мәндерінен өте аз мәндер аралығындағы диапазонда тиімді жауап беретін әмбебап датчик жоқ. Сондықтан, әрбір осындай қысым датчигі жұмысна тисті өзіндік мәндер диапазоны бар, олар өндіруші зауыттардың номиналды жұмыс тәртібіне сәйкес анықталады. Осы жұмыста жасалатын тұтқалар ауылшаруашылық өнімдеріне арналған. 1961 жылдан бастап жемістер мен көкөністерге арналған халықаралық стандарттар белгіленді: бау - бақша өнімдерінің орташа диаметрі 40 - тан 100 мм-ге дейін, салмағы 50-ден 500 г-ға дейін. Бұл өнімдердің пішіні шамамен сфера тәрізді, ал лимон мен ұзын қызанақтарда аздаған өзгерістер болады. Алма, алмұрт және қызанақ және т.б.-дың механикалық қасиеттері де ескеріледі. Яғни, мұндай өнімдердің әр түрі үшін күштердің нақты өзгеру диапазоны бар датчик болуы тиіс. Сонымен қатар, тұтқа барлық «саусақтарымен» байланыс аймақтарында біркелкі ұстау үшін бірдей күш туғызуы керек. Осы мәселелерді зерттеу мақсатында өнім бетіне беймделетін екі фалангты және үш фалангты ұстаушылар талданады.

**Түйінді сөздер.** Робот-манипулятор, сфералы нысан, ұстау, элемент.

**Yerbol Temirbekov**, doctor of technical sciences, professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, temirbekov@mail.ru.

**Seitbek Zhunisbekov**, assistant professor, Academy of Logistics and Transport (ALT), Almaty, Kazakhstan, zhunisbek.s@mail.ru

**Bairon Karassayev**, doctoral student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, karasaevb@gmail.com.

**Talypzhan Akimov**, master's student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, Email: talipzhan.a@mail.ru.

**Algazy Zhauyt**, PhD, professor, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Kazakhstan, ali84jauyt@mail.ru.

## RATIONAL OBJECT CAPTURE WITHIN RIGIDITY

**Abstract.** Now there are many different designs of tongs of robotic manipulators. In this work, the problem of uniform grasping at the points of contact of an object of a round or spherical shape (fruits and vegetables) with a tong is investigated. Now pressure sensors are used for this, mounted on the “fingers” of the gripper. They, at a certain value of effort in the contact zone, stop the «fingers» of the grip. However, there is no such universal sensor that responds optimally to the entire pressure range from very high to miserable values. Therefore, each such pressure sensor has its own range of values, they correspond to the nominal operating mode of the sensor, determined by the manufacturer. The tongs developed here are intended for agricultural products. Since 1961 international standards have been established for fruits and vegetables: the average diameter of horticultural products ranges from 40 to 100 mm, weight ranges from 50 to 500 g. The shape of these products is approximately spherical with some minor changes in shape in lemons and oblong tomatoes. The mechanical properties of apples, pears and tomatoes, etc. were also measured. That is, for each type of such products there must be a specific sensor with a specific range of force changes. In addition, this gripper must create the same efforts in the contact zones with all its “fingers” for a uniform grip. To investigate these problems, two-phalangeal and three-phalangeal grippers that have adaptation to the surface of the fetus are analyzed here.

**Keywords.** Robotic-manipulators, spherical shape, gripper, elements.

\*\*\*\*\*