

**Заключение.** Реализация предлагаемых научно-прикладных решений по комплексному освоению малых месторождений нерудных строительных материалов несомненно внесет экономическую пользу за счет небольших капитальных вложений, короткого срока их окупаемости, минимальных затрат на создание инфраструктуры, а также применения простых организационно-технологических схем вскрытия и добычи.

**Литература:**

1. Расчёты экономической эффективности применения машин в строительстве / С. Е. Канторер и др.; под ред. проф. С. Е. Канторера. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1972. – 487 с.

2. Плютов Ю. А. Оценка эффективности эксплуатации погрузочно-транспортных комплексов открытых горных разработок. // Горное оборудование и электромеханика, № 1, 2008. С. 4-7.

3. Калдыбаев Н. А., Караева З. У., Ысманова М. Критерии и методы оптимизации разработки малых месторождений природного камня // Известия ОшТУ. – 2011, №2, -стр. 54-59.

4. Резниченко С. С. Математические методы и моделирование в горной промышленности: учеб. пособие / С. С. Резниченко, А. А. Ашихмин. – М.: Изд-во Московского горного ун-та, 2001. – 404 с.

5. Вербицкий Г. М. Основы оптимального использования машин в строительстве и горном деле. Учебное пособие. – Хабаровск, 2006. -105 с.

6. Калдыбаев Н. А. Моделирование технологии разработки малых месторождений нерудных строительных материалов // Известия Кыргызского государственного технического университета, №28, 2013. -с.186-191.

7. Калдыбаев Н. А. К формированию экономико-математической модели задачи оптимизации горных работ в малых карьерах // Наука. Образование. Техника. 2014, № 4. С. 78.

8. Калдыбаев Н. А. Модель задачи оптимизации использования горных машин в малых карьерах // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2014, № 33. С. 269-272.

УДК: 621.865.8

*Темирбеков Е. С., докт. техн. наук, профессор  
temirbekove@mail.ru*

*Уалиев З. Г., докт. техн. наук, профессор  
ualiyev@mail.ru*

*Карасаев Б. А., karasaevb@gmail.com  
Акимов Г.,*

*Казахский национальный университет  
им. аль-Фараби, Казахстан*

## РАЗРАБОТКА СХЕМ АДАПТИВНЫХ СХВАТОВ МАНИПУЛЯТОРОВ ДЛЯ РАВНОМЕРНОГО ЗАХВАТА ОБЪЕКТОВ СО СФЕРИЧЕСКОЙ ФОРМОЙ

Сейчас существует множество различных конструкций схватов роботоманипуляторов. Эта работа связана с разработкой схем адаптивных схватов манипуляторов для объектов со сферической формой. Обычно для этого используются датчики давления, установленные на фалангах «пальцев» схвата, значения в которых предварительно установлены в некотором небольшом диапазоне. Они при этих значениях усилия в зоне контакта останавливают дальнейшее движение «пальцев» схвата. Однако нет такого универсального датчика, который оптимально реагирует на весь диапазон давлений от очень больших до минимальных 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 1961г. установлены международные стандарты для фруктов и овощей. 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 небольшим диапазоном изменения усилий. К тому же этот схват должен в зонах контакта с объектом всеми своими «пальцами» создавать одинаковые усилия для равномерного схватывания. Для исследования этих проблем здесь анализируются схваты, имеющие несколько фаланг на пальцах и имеющие по своей структуре адаптацию к поверхности плода.

**Ключевые слова:** схема, схват, объект, параметр, фаланги, датчики давления.

Темирбеков Е. С., тех. илим. докт., профессор  
[temirbekove@mail.ru](mailto:temirbekove@mail.ru)

Уалиев З. Г., тех. илим. докт., профессор  
[ualiyev@mail.ru](mailto:ualiyev@mail.ru)

Карасаев Б. А., [karasaevb@gmail.com](mailto:karasaevb@gmail.com)

Акимов Т.,  
аль-Фараби ат. Казак улуттук университети,  
Казакстан

## СФЕРА ФОРМАСЫНДАГЫ ОБЪЕКТИЛЕРДИ ТЕКШИ КАРМОО ҮЧҮН МАНИПУЛЯТОРЛОРДУН АДАПТИВДҮҮ КАРМАГЫЧТАРЫНЫН СХЕМАЛАРЫН ИШТЕП ЧЫГУУ

Азыр роботтук манипуляторлордун кыскычтарынын ар түрдүү конструкциялары бар. Бул эмгек сфералык формасы бар объектилерге арналган

манипуляторлордун кармагычтарынын схемаларын иштеп чыгуу менен байланыштуу. Адатта, бул үчүн кыскычтын «манжаларынын» фалангаларына орнотулган кысуу сенсорлору колдонулат, алардын маанилери белгилүү бир диапазондо алдын ала орнотулат. Байланыш аймагындагы күчтүн ошол маанилери менен алар кармагычтын «манжаларынын» ары карай жылуусун токтотот. Ошентсе да өтө жогоркудан минималдык маанилерге чейинки бардык кысуу диапазонуна оптималдуу жооп бере турган универсалдуу сенсор жок. Ошондуктан ар бир кысуу датчиги маанилеринин өздүк диапазонуна ээ, алар өндүрүүчү аныктаган сенсордун номиналдык иш режимине шайкеш келет. Мындай иштелип чыккан кыскычтар айыл чарбасынын өнүмдөрүнө арналган. 1961-жылдан баштап жемиштер менен жашылчаларга арналган эл аралык стандарттар белгиленген. Бул өнүмдөрдөн лимондор менен сүйрү помидорлордун формалары бир аз өзгөрүүлөрү менен сфералык деп табылган. Ошондой эле алма, алмурут жана помидорлордун ж. б механикалык касиеттери ченелген. Башкача айтканда, мындай өнүмдөрдүн ар бир түрү үчүн күч өзгөрүүлөрүнүн белгилүү бир конкреттүү кичине диапазону бар датчик болууга тийиш. Аны менен катар, мындай кармагыч текши кармоо үчүн бардык «манжалары менен» тийишкен жерлеринде бирдей күч жумшоосу зарыл. Бул маселелерди изилдөө үчүн манжаларында бир нече фалангалары жана өзүнүн түзүлүшүндө жемиштин бетине ыңгайлашуусу бар кармагычтарды талдоого алабыз.

**Өзөктүү сөздөр:** схема, кармоо, объект, параметр, фаланга, басым датчиктери.

*Temirbekov E. S., doct. techn. science, proff.*

*temirbekove@mail.ru*

*Ualiev Z. G., doct. techn. science, proff.*

*ualiyev@mail.ru*

*Karasaev B. A., karasaevb@gmail.com*

*Akimov T.,*

*Al-Farabi. Kazah state university, Kazahstan*

## DEVELOPMENT OF SCHEMES OF ADAPTIVE GRIPPER MANIPULATORS FOR UNIFORM CAPTURE OF OBJECTS WITH SPHERICAL SHAPE

*Now there are many different designs of grippers for robotic arms. This work is on the development of schemes for adaptive grippers of manipulators for objects with a spherical shape. Typically, pressure sensors are used for this, installed on the phalanxes of the "fingers" of the gripper, the values in which are pre-set in a certain small range. With these values of force in the contact zone, they stop the further movement of the "fingers" of the gripper. However, there is no such universal sensor that optimally responds to the entire pressure range from very high to minimal 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 grippers developed here are intended for agro-horticultural products. Since 1961 established international standards for fruits and vegetables. The shape of these products is approximately spherical with some slight 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 small range of force changes. In addition, this gripper must*

create the same forces in the contact zones with all its "fingers" for a uniform grip. To investigate these problems, grips that have several phalanges on the fingers and have adaptation to the surface are analyzed here.

**Key words:** scheme, tong, object, parameter, phalanges, pressure sensors.

**Введение.** При выборе схем и подборе метрических и динамических параметров адаптивных схватов для надежного удержания объекта ими, необходимо учитывать их конфигурацию, параметры схвата и захватываемого им объекта; силы и моменты, действующие в схвате и объекте; упругие и фрикционные характеристики материала элементов схвата и объекта. Будем считать зависимость усилий и упругих перемещений в элементах схвата линейной. Очевидно, чем больше точек контакта схвата с объектом, тем лучше удерживается объект в схвате при прочих равных условиях, это показано в работе [1] для объектов с круглым сечением. Из нее видно, что чем больше точек захвата, тем меньше минимальная сила  $4f \min$  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 самом схвате. Чтобы этого не происходило, нужно увеличивать усилие захватывания. Если же усилие схватывания окажется больше некоторого значения, то произойдет деформация, превышающая допустимую, А если усилие будет слишком малым, то при переносе объекта схватывания может произойти его проскальзывание или выпадение под действием сил тяжести и инерции. Из условий надежного удерживания объекта круглой формы в схвате без проскальзывания вытекают ограничения снизу на усилие захватывания. Предполагается, что сила инерции  $\Phi$  направлена по оси объекта в виде цилиндра, который вертикален. Тогда при больших скоростях перемещения схвата возможное проскальзывание объекта в схвате будет по этой оси. Условие непроскальзывания [1] это минимальное значение силы:  $P \frac{G+\Phi}{4f \min}, P \frac{G+\Phi}{6f \min}, P \frac{G+\Phi}{8f \min}$ , где  $f$  - коэффициент трения между точками контакта и объектом,  $G$  - вес объекта,  $\Phi$  - 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 вариаций за счет того, что каждый многофаланговый «палец» имеет по несколько степеней свободы (вращений относительно шарниров между фалангами пальца) и поэтому адаптируется к неровностям приблизительно круглой поверхности схватываемого предмета. На одну из таких схем схвата получен 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 с двух- и трехфаланговым адаптивными схватами.

**Модель двухфалангового адаптивного схвата.** Он назван адаптивным потому, что каждый из пальцев имеет две фаланги, соединенные 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 фаланги адаптируются к этой поверхности. Мы брали фаланги пальцев схвата, имеющие треугольный в профиле вид и по два пальца симметричные относительно радиальной линии (Рис.1. а). На окружности радиуса  $R_2$  расположены шарниры А, В, А, В и точки М и М схвата. Радиус окружности сечения схватываемого объекта  $R_1$ , причем выполняется соотношение  $R_2 > R_1$ . Гибкий тяговый элемент 1 (ГТЭ-1) закреплен в точках Е и Е, от точки Е он проходит через точки  $F_1$  и К и далее идет к приводу-1; от точки Е он проходит через точки  $F_1$  и К и далее идет также к приводу-1. Гибкий тяговый элемент 2 (ГТЭ-2) закреплен в точках  $F_1$  и F, от точки F он проходит через точку К и далее идет к приводу-2; от точки F он проходит через точку К и далее идет также к приводу-2. В точках  $D_1, D_2, D_3, D'_1, D'_2, D'_3$  расположены зубья схвата. Линии ГТЭ-1 и ГТЭ-2 должны быть максимально приближены к окружности радиуса  $R_1$  для создания большего усилия в зубьях. Из условия не касания линий ГТЭ-1 и ГТЭ-2 к этой окружности сечения объекта цилиндрической формы имеем  $(R_1 + a) \cos(\alpha/2) > R_1$  или  $a > R_1 / \cos(\alpha/2) - R_1$ , где  $a = ED_1 = ED_1 = FD_2 = FD_2$  и  $\alpha$  центральный угол (рис.1а). Пусть  $\alpha = 60^\circ$ , тогда охват захватываемого объекта «пальцами» вместе с фрагментом рукоятки (закрашен зеленым цветом на рис.1а) будет равным окружности.

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

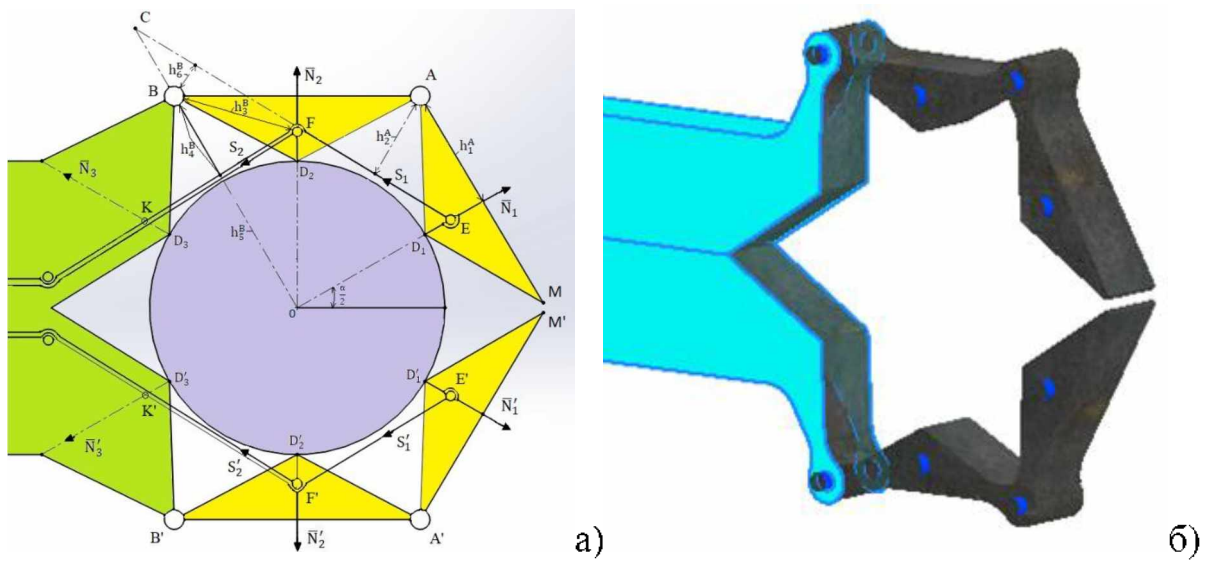


Рисунок 1. Плоская схема и 3D-модель двухфалангового схвата.

Найдем внутреннее усилие  $\bar{N}_2$ , которое возникает в зубе 2 (точка  $D_2$ ). Рассмотрим условие равновесия моментов сил  $\sum M_{B_i} = 0$  (рис.1а). От ГТЭ-2 возникает внешнее усилие  $S_2$ . От ГТЭ-1, закрепленного в точке E, в точке F возникает две реакции, равные по величине  $S_1$ . Они направлены: одна от точки F к E, вторая от F к K. Их сумма по модулю равна  $S_F = 2S_1 \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$  и она направлена от точки F к точке O – центру окружности, имитирующей объект. Эти силы создают момент относительно точки B, прижимающий фалангу 2 к объекту схватывания. Из условия равновесия имеем:

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

$$h_3^B = h_1^A, h_4^B = h_2^A, h_5^B = R_2 \sin\left(3\frac{\alpha}{2}\right) - \text{плечо момента от усилия } \bar{N}_1. \text{ Найдем}$$

$h_6^B$  - плечо момента от усилия  $S_1$  относительно точки B. Для этого сначала найдем координаты точек E, F, C:  $X_E = (R_1 + a)\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right), Y_E = (R_1 + a)\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right),$

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

$$\angle OCE = 180^\circ - 90^\circ - 2\frac{\alpha}{2} = 30^\circ. \quad \text{Длина } BC = Y_C - R_2, \text{ тогда}$$

$h_6^B = BC \sin(\angle OCE).$  Тогда сила  $\bar{N}_2$  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  $N_1$  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  $D_2$ , лежащем на рукоятке, связанной шарнирно с ближайшей фалангой, из условия равновесия усилий для всего объекта схватывания и симметрии относительно точки O, 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, получим соотношения для статических усилий в плоской модели двухпальцевого двухфалангового схвата. Возьмем в качестве модельного примера параметры плоской схемы  $R_1=60$  мм,  $R_2=120$  мм,  $\alpha=60^\circ$ ,  $a=15$  мм. В таблице 1 и на рис.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. Из таблицы 1 и рисунка 2 видно, что если схватываемый объект требует в шести точках контакта со схватом приблизительное усилия в 50 н, то усилие в приводе-1 должно быть  $S_1=55$  н, а в приводе-2 оно должно быть  $S_2=69$  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.

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

$S_1$	$S_2$	$N_1 = N'_1$	$N_2 = N'_2$	$N_3 = N'_3$
55	69	50.4	50.2	50.4
110	138	100.9	100.5	100.9
165	207	151.3	150.8	151.3
220	276	201.8	201.1	201.8
275	346	252.3	252.3	252.3

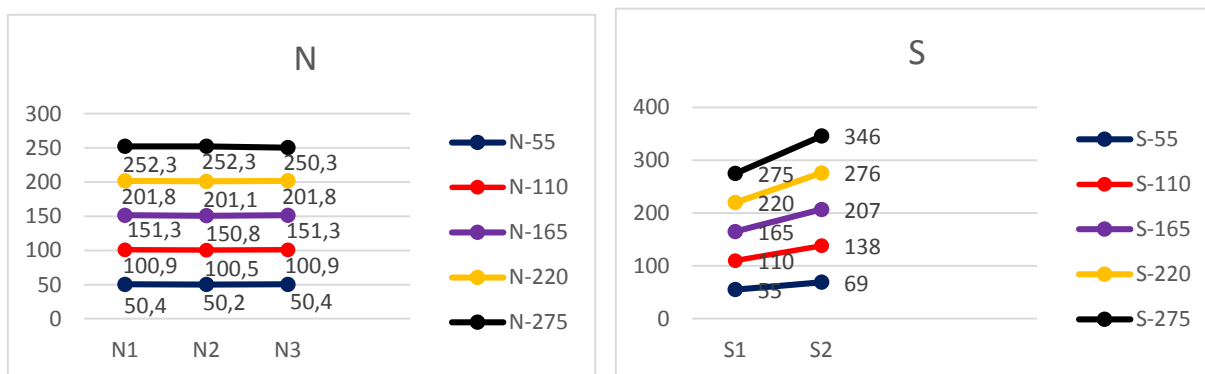


Рисунок 2. Диаграммы сил  $S_1, S_2$  и реакций  $N_1, N_2, N_3, N_1', N_2', N_3'$ .

Плоская модель показывает общие закономерности взаимосвязей усилий «пальцев» схвата с круглым объектом схватывания. Рассмотрим 3D модель данного схвата, расчетные параметры 3D модели: метрические параметры





параметры и распределение усилий при равномерном захвате круглого цилиндрического предмета.

Здесь рассмотрена модель, в которой фаланги «пальцев» представлены также в виде треугольников (рис.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  $\alpha$ .

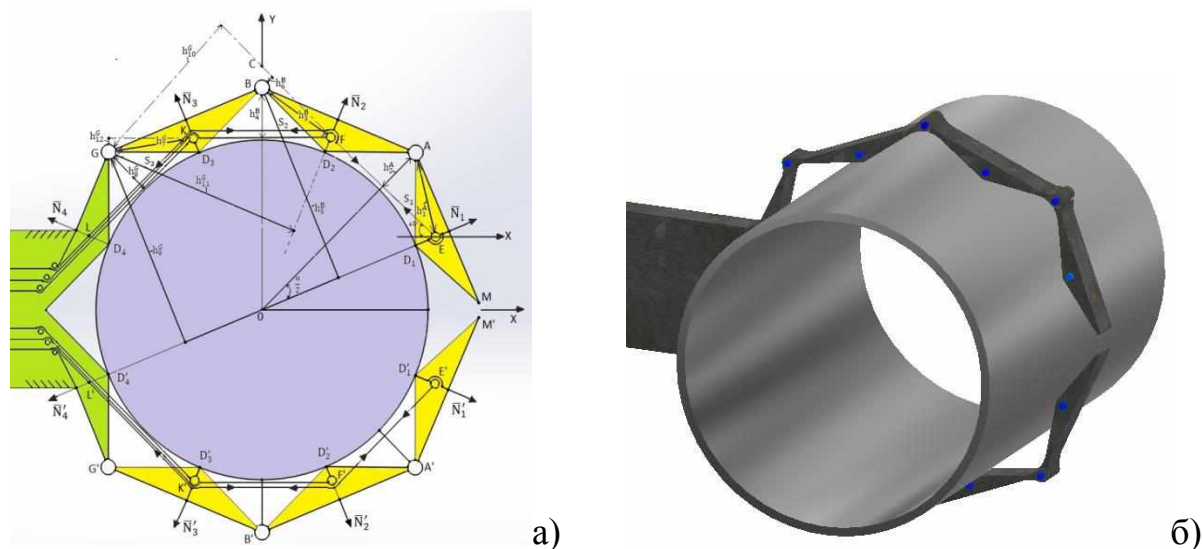


Рисунок 7. Плоская схема и 3D-модель трехфалангового схвата.

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 училия  $N_1$ ;  $h_2^A = R_2 - (R_1 + a) \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$  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:

Здесь  $N_2 h_3^B - S_2 h_4^B + S_1 h_6^B + N_1 h_5^B - S_F h_3^B = 0$ .  
 $\bar{S}_2$  – внешнее усилие от ГТЭ-2;  $h_3^B = h_1^A$ ,  $h_4^B = h_2^A$ ;  
 $h_5^B$  – плечо момента усилия  $\bar{N}_1$ ;  $h_5^B = R_2 \sin\left(3\frac{\alpha}{2}\right)$ . 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 внутренне 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  $h_7^G = h_3^B = h_1^A$ ,  $h_{12}^G = h_6^B$ ,  $h_8^G = h_4^B = h_2^A$ ,  
 $h_{11}^G = h_9^G = h_5^B = R_2 \sin\left(3\frac{\alpha}{2}\right)$ ,  $S_3$  – внешнее усилие от ГТЭ-3. Найдем  $h_{10}^G$  -  
 кратчайшее расстояние от точки G до линии, проходящей через точки E 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

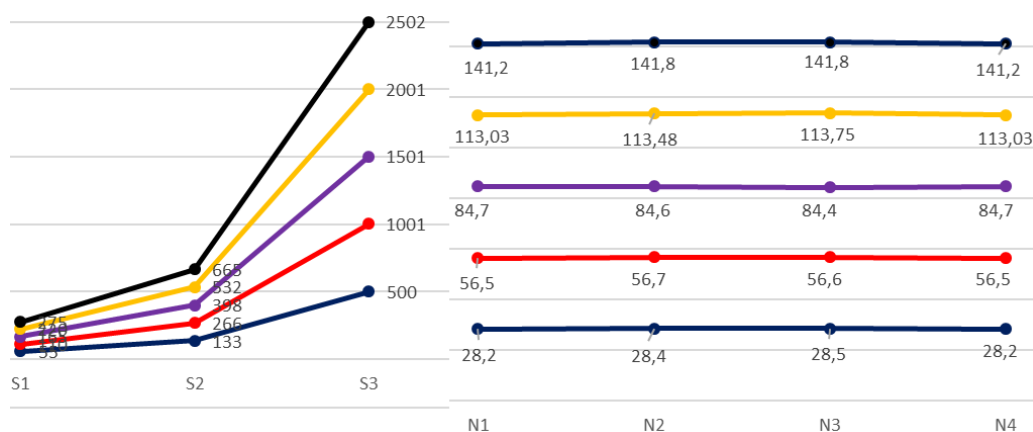


Рисунок 8. Диаграммы сил  $S_1, S_2, S_3$  и  $N_1, N_2, N_3, N_4, N_1', N_2', N_3', N_4'$ .

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.

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**'е.

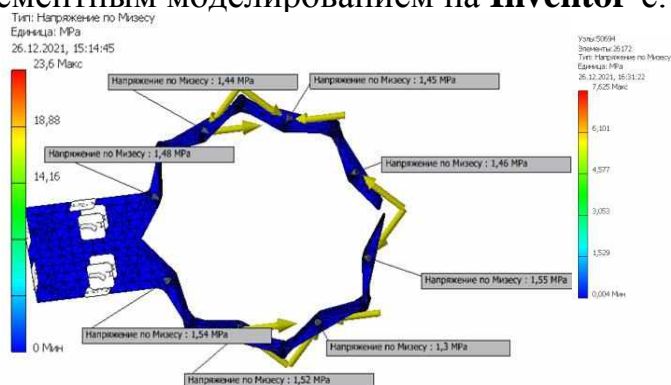


Рисунок 9. Напряжения по Мизесу в точках контакта схвата.

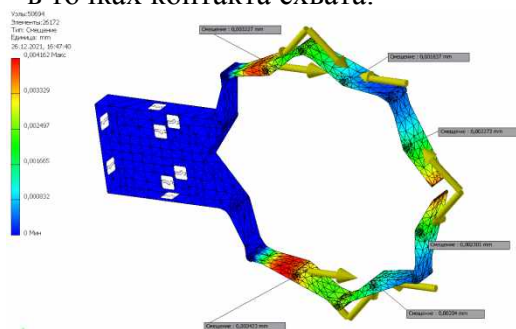


Рисунок 11. Упругие перемещения в точках контакта схвата.

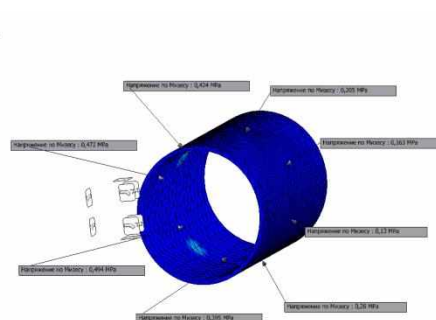


Рисунок 10. Напряжения по Мизесу в точках контакта схватываемого объекта.

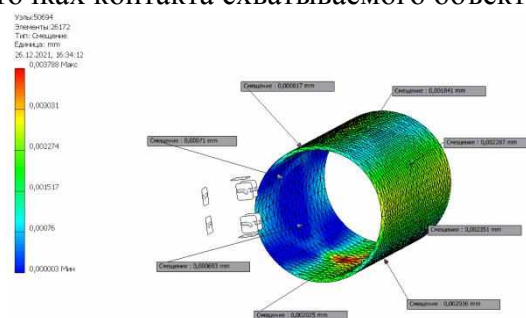


Рисунок 12. – Упругие перемещения в точках контакта схватываемого объекта.

### Заключение

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 равномерного распределения усилий в точках контакта схвата и объекта. 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.

Из табличных значений видно, что приближенно равномерное захват объекта дан для пяти моделируемых значений усилий в ГТЭ. Причем усилия в ГТЭ-1 брались одинаковыми для обоих схватов. Видно, что усилия последовательно возрастают от первого ГТЭ к последующим ГТЭ, у трехфалангового схвата они возрастают заметно быстрее чем у двухфалангового, но усилия в точках контакта зубьев схватов и поверхности объекта в нем значительно меньше.

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. - СПб., 1993, 1 -71 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 AP09562257
3. Temirbekov Y. and others. Grasps of Robot Manipulator When Overloading Solid High-Radioactive Elements and Their Calculation. Mechanics and Machine Science ISBN 978-3-030-03319-4.) <http://doi.org/10.1007/978-3-030-03320-0 p.316-324>
4. Temirbekov Y. and others. A gripper mechanism to automate overload process for fuel elements. Mechanisms and Machine Science Volume 66, 2019, 118-128 p.