

УДК 62-231

Селиверстов И.А., к.т.н., Дмитриев Д.А., д.т.н., Розов Ю.Г., к.т.н., Подольский М.И., Диневич Г.Ю.

Херсонский национальный технический университет

КОНСТРУКЦИЯ РЫЧАЖНОГО УСТРОЙСТВА ОТКРЫТИЯ АВТОКЛАВА

В работе рассмотрены существующие конструкции механизма открытия крышки автоклава. Предложен новый усовершенствованный механизм открытия, позволяющий снизить эксплуатационные расходы в процессе его работы.

Для обеспечения работоспособности механизма было проведено компьютерное моделирование, что позволило определить положения центров масс отдельных звеньев и конструкции в целом, построена модель действующих на конструкцию сил и статических моментов.

Составлена система параметрических уравнений для расчета характеристик центров масс звеньев, зависимостей балансирования, определения и проверки условий равновесия системы шарнирно-стержневого механизма. Выполнен расчет и оптимизация статических и опрокидывающих моментов для обеспечения противовеса в статическом положении и в процессе работы.

В результате проведенного анализа приняты рациональные конструктивные размеры устройства, положение оси вращения, диаметры опор скольжения и обеспечено допустимое усилие открытия, позволяющего осуществлять ручное перемещение крупногабаритных объектов большой массы и непосредственно открытие крышки автоклава для изготовления газобетона.

Центро-массовые характеристики, моделирование, равновесие, балансировка, опрокидывающий момент.

Введение. Экономические условия развития южного региона Украины определили задачи модернизации производственных процессов химической и строительной промышленности. Так, в Херсонской области на ПАО «Таврическая строительная компания» освоена технология производства новых видов строительных материалов, в частности автоклавного газобетона. При этом, несмотря на узкую специализацию данного предприятия, установленное оборудование требует глубокого анализа с позиций конструирования, механики, сопротивления материалов, технологии машиностроения. Основным оборудованием для производства газобетона термовлажной обработки силикатного кирпича и силикатных изделий, является автоклав проходного или тупикового типа с быстросъемными крышками, который представляет собой стальной сосуд-цилиндр, клепанный или сваренный из отдельных звеньев-обечаек. С торцов автоклав закрыт выпуклыми днищами и байонетным затвором, из которых одно или оба закрываются герметическими крышками с помощью механизма. Крышки автоклавов закрывают и открывают с помощью гидравлического привода, подъемных электролебедок и кран-балок. Более совершенным устройством для подъема и перемещения крышек являются поворотные краны-укосины, что позволяет открывать крышку при минимальном расстоянии между автоклавами в 1,5 м. Существующие конструкции механизма достаточно полно удовлетворяют нормам техники безопасности по закрытию и открытию крышек, а именно:

- быстрое открывание и закрывание крышек и герметизацию их соединения;
- фиксацию крышки в открытом положении;

Актуальность темы и анализ предыдущих публикаций. Существенным недостатком указанных механизмов является наличие электро и гидропривода, что удорожает первоначальную стоимость автоклава и эксплуатационные расходы в процессе его работы. Учитывая современные тенденции развития и опыт известных производителей автоклавного оборудования, например таких компаний, как Luoyang Longhua Heat Transfer Technology CO., LTD (КНР) или «WERNHANN» и «MASA-HENKE» (Германия), механизм открытия-закрытия автоклава конструктивно исполнен намного проще. Механизм представляет собой двухплечный рычаг с горизонтальным расположением закрывающей крышки на одной стороне, а на другой находится противовес, ось вращения горизонтальная (рис.1).

Несмотря на простоту конструкции, при проектировании и изготовлении такого механизма в условиях завода-производителя возникают существенные сложности, что обусловлено следующими причинами:

- большие массы движущихся частей и их сложная геометрическая форма, например масса крышки автоклава АП 1.6 - 2 ГОСТ 10037-83, составляет 1049 кг;
- согласно техническим требованиям усилие открытия и закрытия не должно превышать установленных норм;
- гарантированную фиксацию крышки в открытом положении;

Основная часть. Исследование ручного рычажного устройства (РУ) открытия автоклава проводилось кафедрой «Основы конструирования» Херсонского национального технического университета по заказу ПАО «Таврическая строительная компания» в соответствии с хозяйдоговором №2/2013. Заказчиком было сформулировано техническое задание, в соответствии с которым необходимо провести силовой и кинематический анализ РУ открытия автоклава, изготовленного по проекту 3.29.46.00 ПАО «УКРНИИХИММАШ» г. Харьков (рис.1 а, б), определить значения усилий открытия (закрытия) крышки, сформулировать практические рекомендации по усовершенствованию РУ в соответствии с реальными центр-массовыми характеристиками звеньев. Это требование обусловлено тем, что изготовленная конструкция РУ оказалась не работоспособной из-за не согласованного по массам и расположению звеньев в проекте ПАО «УКРНИИХИММАШ» с размерами и формой крышки автоклава. Основным стремлением заказчика к переходу на РУ было желание обеспечить свободное перемещение транспортного моста для загрузки массива в автоклавном ряду (рис.1 в, г).

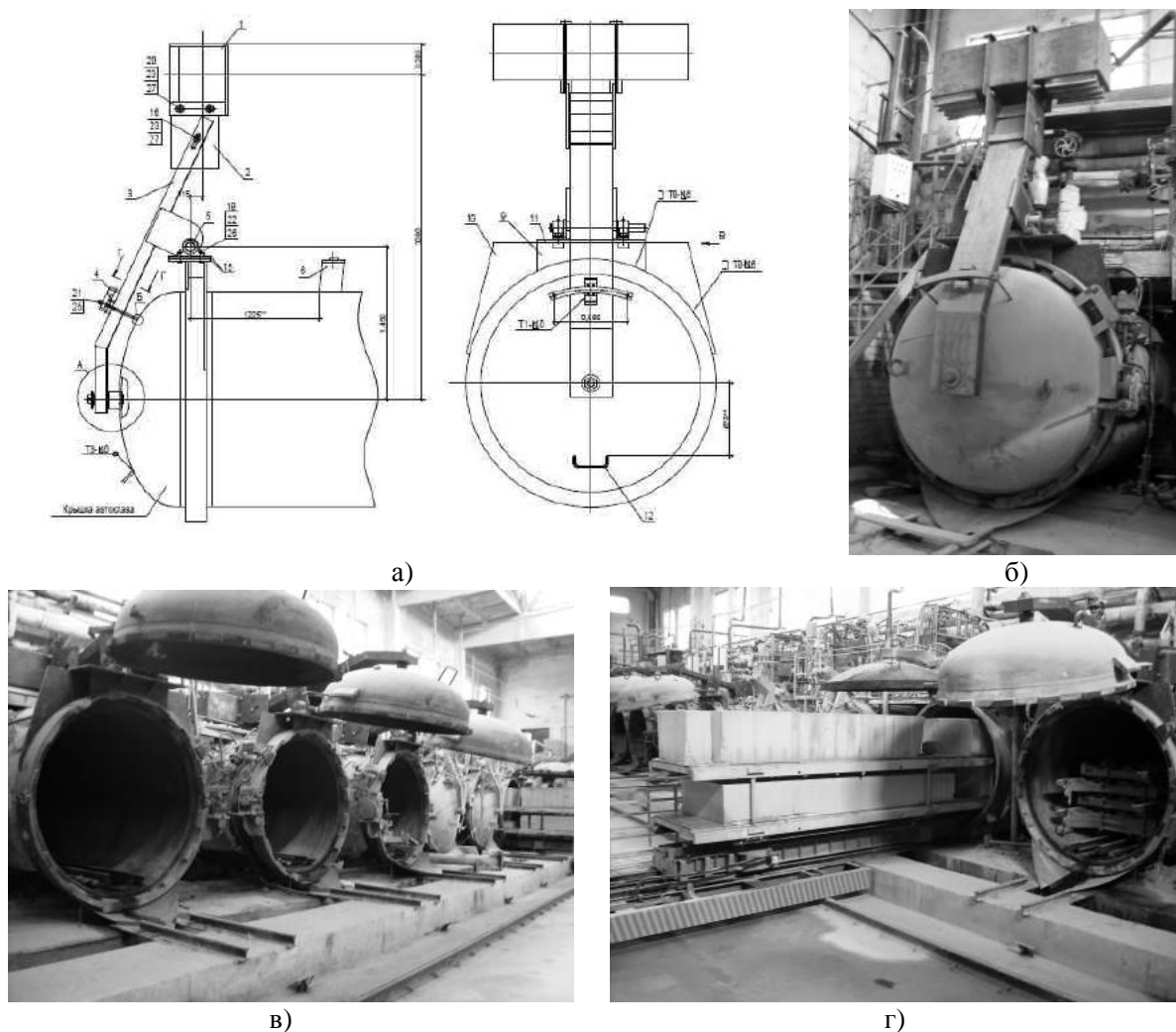


Рис. 1. Конструкция устройства ручного открытия крышки автоклава в условиях ПАО «Таврическая строительная компания» г. Херсон: а) – сборочный чертеж устройства по проекту ПАО «УКРНИИХИММАШ» (г. Харьков); б) – изготовленная конструкция (закрытое состояние); в) – автоклавный ряд для изготовления газобетона (открытое состояние); г) – транспортный мост для загрузки массива

Исследование работоспособности РУ открытия автоклава состояло из следующих этапов:

- поиск существующих положений центров масс отдельных звеньев и конструкции в целом (построение сетки центров масс);
- построение модели действующих на конструкцию сил и статических моментов;
- поиск способов структурной перестройки звеньев РУ открытия автоклава;
- анализ условия открытия крышки по существующим геометрическим ограничениям и обеспечение гарантированного просвета для прохода массива;
- построение параметрической математической модели для расчета массы уравновешивающего груза в зависимости от положения бункера противовеса и определение области допустимых решений;

Для обеспечения минимальных усилий открытия и закрытия автоклава, устранения и уменьшения дополнительных нагрузок, вызываемых силами инерции необходимо произвести уравновешивание механизма, таким образом, чтобы общий центр масс всех движущихся частей оставался неподвижен. Неподвижным звеном является стойка-ось вращения. Таким образом, положение общего центра масс задано в области близко лежащей к центру вращения РУ. Величина отклонения значительно может повлиять на усилие открытия, создавая дополнительный момент сопротивления, определяемый величиной

$$M_k = h_k \cdot G_k = R_c \cdot \cos(\theta) \cdot G_k \quad (1)$$

где, R_c – величина отклонения-плечо, G_k – масса всей конструкции ≈ 2500 кг.

При таких значения массы, даже незначительное отклонение может приводить к существенным моментам. Расчет допустимых усилий в процессе открытия и закрытия произведен согласно приведенной схеме (рис. 3. а), а область допускаемых значений усилий открытия представлена поверхностью (рис.3, б), как видно усилие открытия непостоянно по значению и зависит от угла поворота θ , следовательно

$$F_o = R_c \cdot \cos(\theta) \cdot G_k/L \quad (2)$$

Частичное уравновешивание РУ и нахождения центра масс всей системы и отдельных ее элементов, осуществляли при помощи компьютерного моделирования (рис 2), согласно которому искомый центр масс центр всей конструкции- ось вращения, определяется массой конструкции с пустым противовесом, центр масс противовеса и массой противовеса.

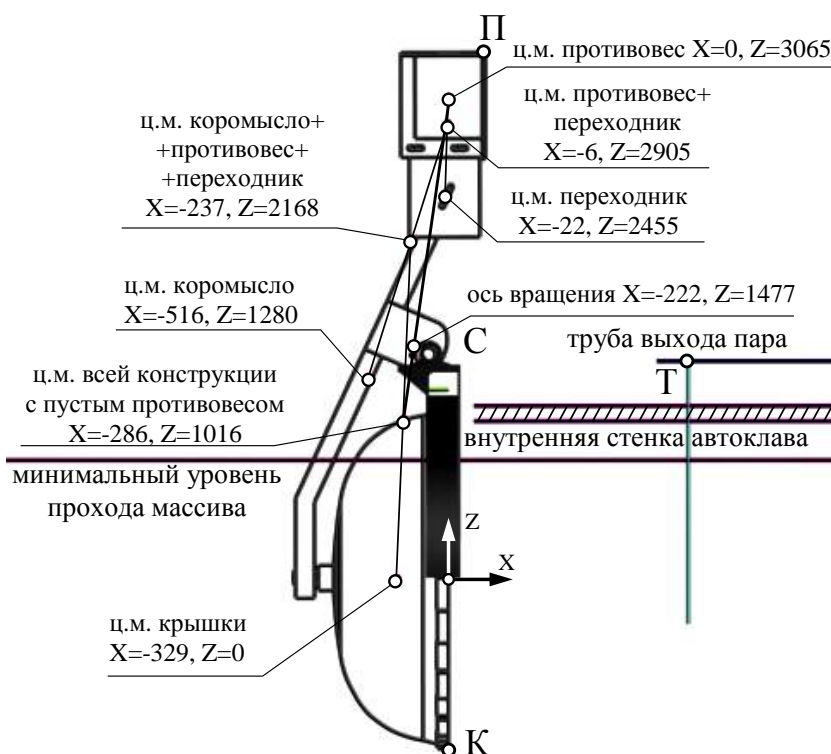


Рис. 2. Сетка положений центров масс звеньев конструкции РУ открытия автоклава

Основным критерием частичного уравнивания РУ и возможности ручного преодоления силы F_L принято условие положения центра масс конструкции в области близкой к действию момента трения в опорах скольжения, работающих в режимах близких к граничному трению [3] $R_c \cdot \cos(\theta) \cdot G_k \leq M_{TP}$.

Координаты центра тяжести всей конструкции определяются согласно [2, 4]:

$$x_c = \frac{\sum(G_i x_i)}{\sum(G_i)}; y_c = \frac{\sum(G_i y_i)}{\sum(G_i)}; z_c = \frac{\sum(G_i z_i)}{\sum(G_i)},$$

или

$$(G_1 + G_2) \cdot X_c = (G_1 \cdot X_1 + G_2 \cdot X_2); (G_1 + G_2) \cdot Z_c = (G_1 \cdot Z_1 + G_2 \cdot Z_2),$$
(3)

где, G_1 – масса всей конструкции с пустым противовесом, G_2 – масса насыпного груза в бункере противовеса, X_c, Z_c – координата центра вращения, X_1, Z_1 – координаты центра масс всей конструкции с пустым противовесом, X_2, Z_2 – координаты центра масс бункера противовеса.

Обеспечить конструктивно зависимость (3) для уравнивания конструкции при больших габаритах РУ, существующих отклонениях геометрических размеров и масс элементов, большинство из которых сварные, достаточно сложно. Поэтому принято решение, приблизить значения X_c, Z_c в конструкции РУ к оси вращения таким образом, чтобы область изменений при подналадке соответствовала регулировке положения X_2 и Z_2 в границах установочных пазов бункера противовеса.

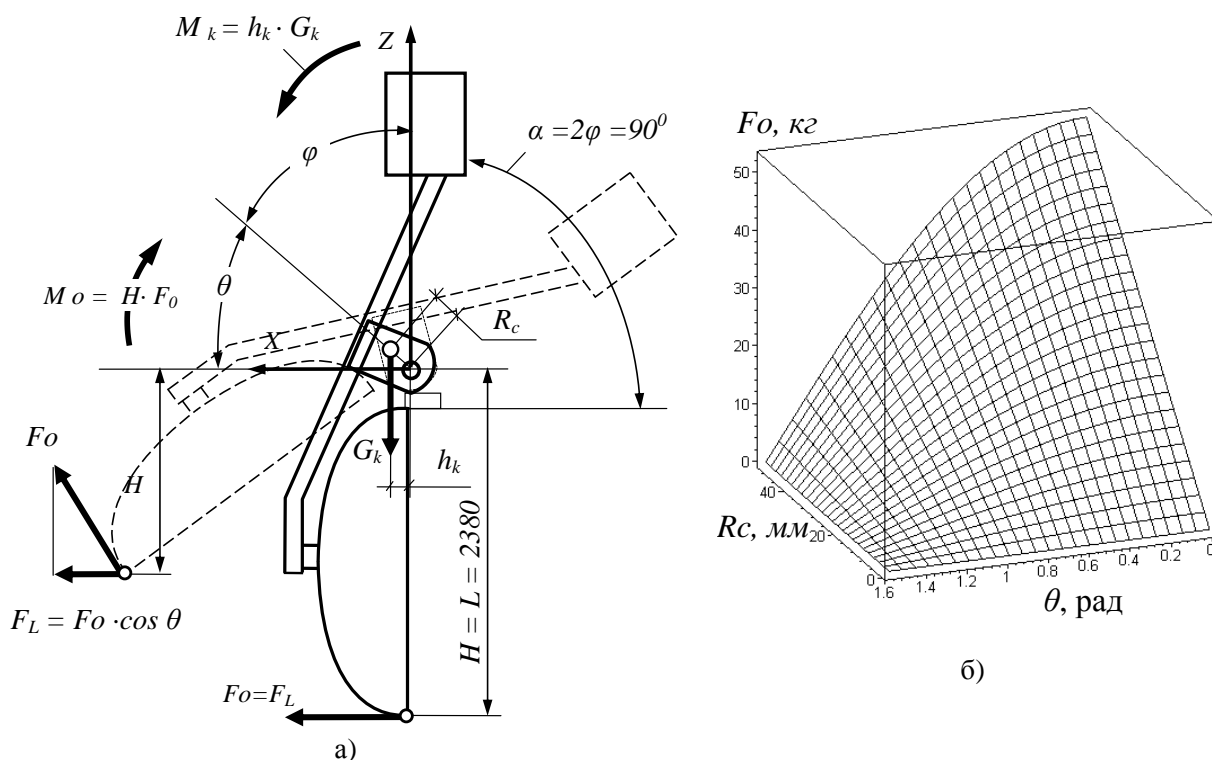


Рис. 3. Определение допустимых значений усилия открытия:
а) – расчетная схема; б) – область допустимых значений

В результате решения системы уравнений (3) относительно координат центра вращения получен ряд соответствующих значений при изменении массы дополнительного груза противовеса G_2 , лежащих на линии переноса центра вращения, эпюра сил показана на (рис 4, а линия $\varepsilon - \varepsilon$). В этом случае для уравнивания необходимо конструктивно переносить центр вращения

$$X_c = (G_1 \cdot X_1 + G_2 \cdot X_2) / (G_1 + G_2), \quad Z_c = (G_1 \cdot Z_1 + G_2 \cdot Z_2) / (G_1 + G_2).$$
(4)

Если координаты центра вращения оставить в существующем положении, неизменными, можно определить ряд значений координат дополнительного груза противовеса и его массы, путем решения системы (4) относительно X_2, Z_2 , при этом координаты центра масс груза противовеса и соответствующие им массы находятся на линии переноса положения бункера, (рис 4, а $\delta - \delta$)

$$X_2 = G_1/G_2 \cdot (X_c - X_1) + X_c, \quad Z_2 = G_1/G_2 \cdot (Z_c - Z_1) + Z_c. \quad (5)$$

Таким образом, конструктивное обеспечение равновесия РУ возможно за счет:

- переноса оси вращения без изменения положения бункера противовеса $\varepsilon - \varepsilon$;
- изменение положения бункера противовеса (изменение конфигурации коромысла) без переноса оси вращения $\delta - \delta$;
- изменение положения оси вращения и бункера противовеса Ω .

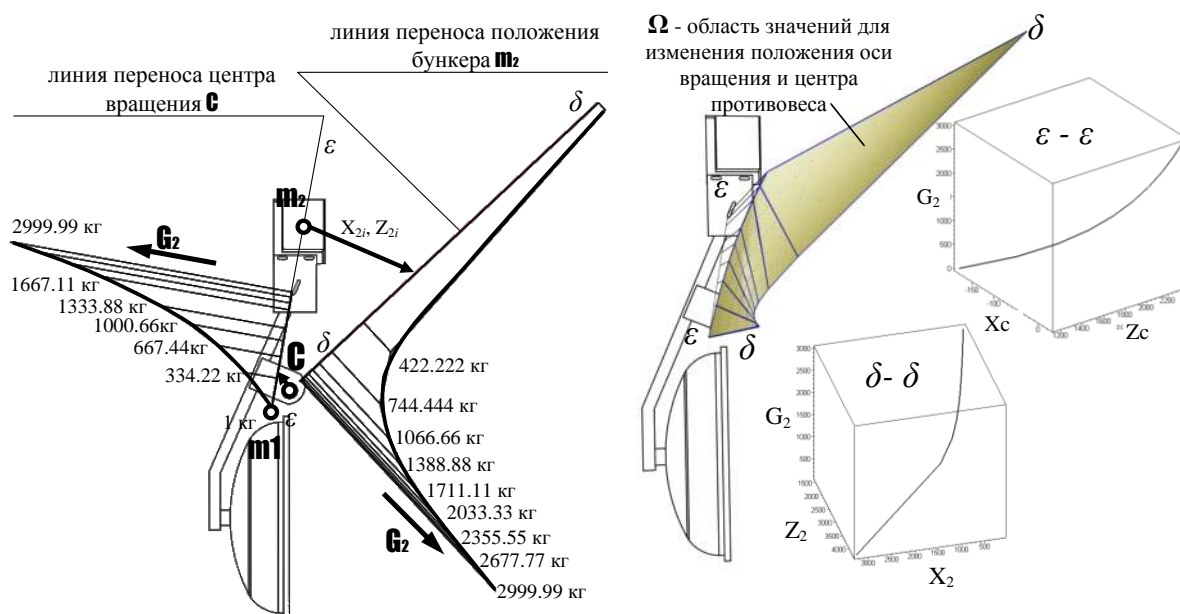


Рис. 4. Варианты размещения центров вращения и противовеса : а) – линии переноса координат и значения масс ; б) – поверхность возможных значений координат положений центра вращения

Необходимым условием предприятия - заказчика, являлось обеспечение необходимой высоты для загрузки массива H , в открытом положении крышки автоклава. Очевидно, что изменение положения центра вращения РУ приводит к изменению этой высоты. Положенное условие также усложняется наличием на верхней стенке автоклава трубы для выхода пара, которая препятствует достаточно полному открытию.

С целью определения области допустимых значений величины $h = D/2 - H$, где D - внутренний диаметр автоклава, согласно приведенной схеме (рис. 5), получена зависимость от переменных значений координат центров масс указанных элементов в различных положениях

$$h = Z_C - \sqrt{(Z_C - Z_K)^2 + (X_K - X_C)^2} \cdot \sin \left(90^\circ - \left(\arctg \left(\frac{Z_{II} - Z_C}{X_C - X_{II}} \right) + \arctg \left(\frac{X_K - X_C}{Z_C - Z_K} \right) - \left(-\arctg \left(\frac{Z_C - Z_T}{X_T - X_C} \right) \right) \right) \right) \quad (6)$$

где X_{II}, Z_{II} – координата противовеса максимального габаритного размера бункера противовеса; X_C, Z_C - координата центра вращения.

В результате проведенного анализа приняты рациональные конструктивные размеры РУ открытия автоклава, положение оси вращения, диаметры опор скольжения и обеспечено

усилие при открытии 6 - 10 кг, с массой насыпного материала в бункере противовеса 650 -700 кг, просвет для прохода массива 150 мм.

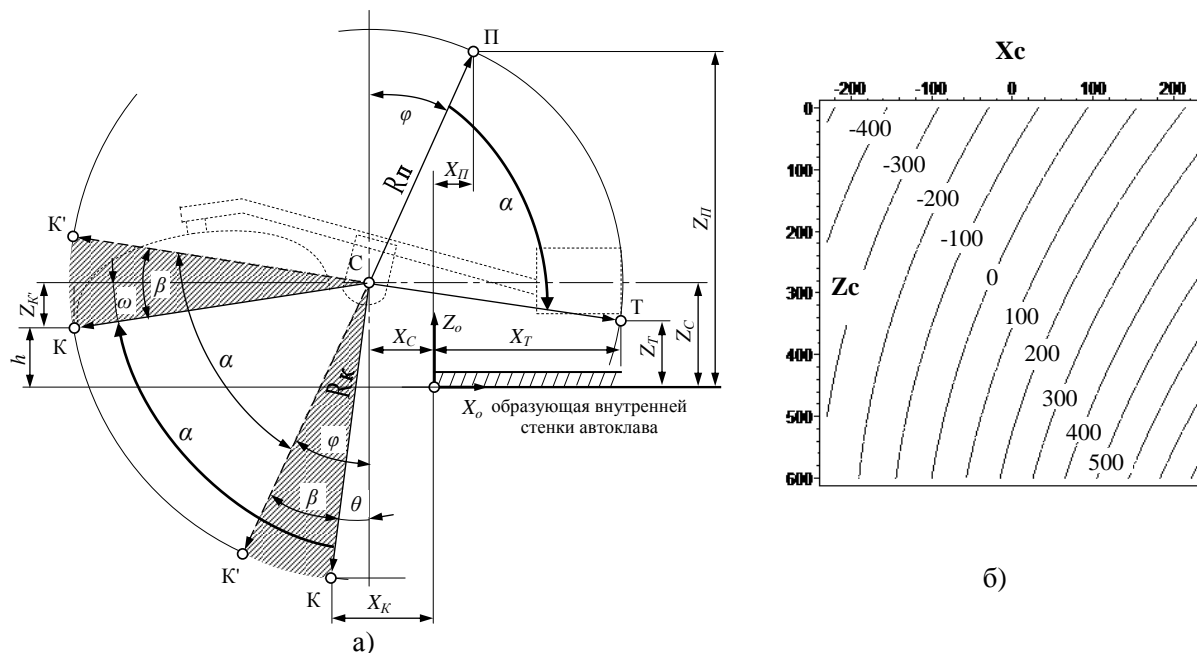


Рис. 5. Анализ условия открытия крышки автоклава: а) – расчетная схема углов открытия и положений механизма б) – линии уровня: значения расстояний h

Выводы. Разработаны математическая и компьютерная модели для расчета характеристик центров масс звеньев, зависимостей балансирования, определения и проверки условий равновесия системы шарнирно-стержневой механизм открытия/закрытия автоклава. Выполнен расчет и оптимизация статических и опрокидывающих моментов для обеспечения противовеса в статическом положении и в процессе работы. Рассчитаны область значений и ограничения усилий, необходимых для механизма открытия крышки автоклава.

Направления дальнейших исследований. Провести, моделирование температурных расширений и возникающих при этом упругих напряжений в закрытом положении РУ открытия автоклава, выполнить проверочный расчет прочности элементов опорной площадки.

1. Заблонский К.И. Прикладная механика / К.И. Заблонский, М.С. Беляев, И.Я. Телис, С.И. Филипович, Н.А. Цецорин. – К.: Вища школа, 1984. – 280 с.
2. Осадчий В.А. Руководство к решению задач по теоретической механике / В.А. Осадчий, А.М. Файн. – М.: Высш.шк., 1972. – 256 с.
3. Чернавский С.А. Подшипники скольжения / С.А. Чернавский. М.: Машгиз, 1963. – 245 с.
4. Эрдеди А.А. Техническая механика: Теоретическая механика. Сопротивление материалов / А.А. Эрдеди, Ю.А. Медведев, Н.А. Эрдеди. – М.: Высш.шк., 1991. – 304 с.