

УДК 62-231

И.А. Селиверстов, доцент, канд. техн. наук,**Д.А. Дмитриев, доцент, д-р техн. наук,****М.И. Подольский, ассистент***Херсонский национальный технический университет,**Бериславское шоссе, 24, г. Херсон, Украина, 73008**dmitr_da@ukr.net***КОНСТРУКТИВНЫЙ АНАЛИЗ****РЫЧАЖНОГО УСТРОЙСТВА ОТКРЫТИЯ АВТОКЛАВА**

Проведен структурный и параметрический анализ геометрических характеристик звеньев и работоспособности рычажно-стержневого механизма, позволяющего осуществлять ручное перемещение крупногабаритных объектов большой массы и непосредственно открытие автоклава для изготовления газобетона.

Ключевые слова: *центро-массовые характеристики, моделирование, равновесие, балансировка, опрокидывающий момент.*

Введение. Экономические условия развития южного региона Украины определили задачи модернизации предприятий 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 «WEHRHANN» 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 (рисунок 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 хоздоговором №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 (рисунок 1 а, б), определить значения усилий открытия (закрытия) крышки, сформулировать практические рекомендации по усовершенствованию РУ в соответствии с реальными центро-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 (рисунок 1, в, г).

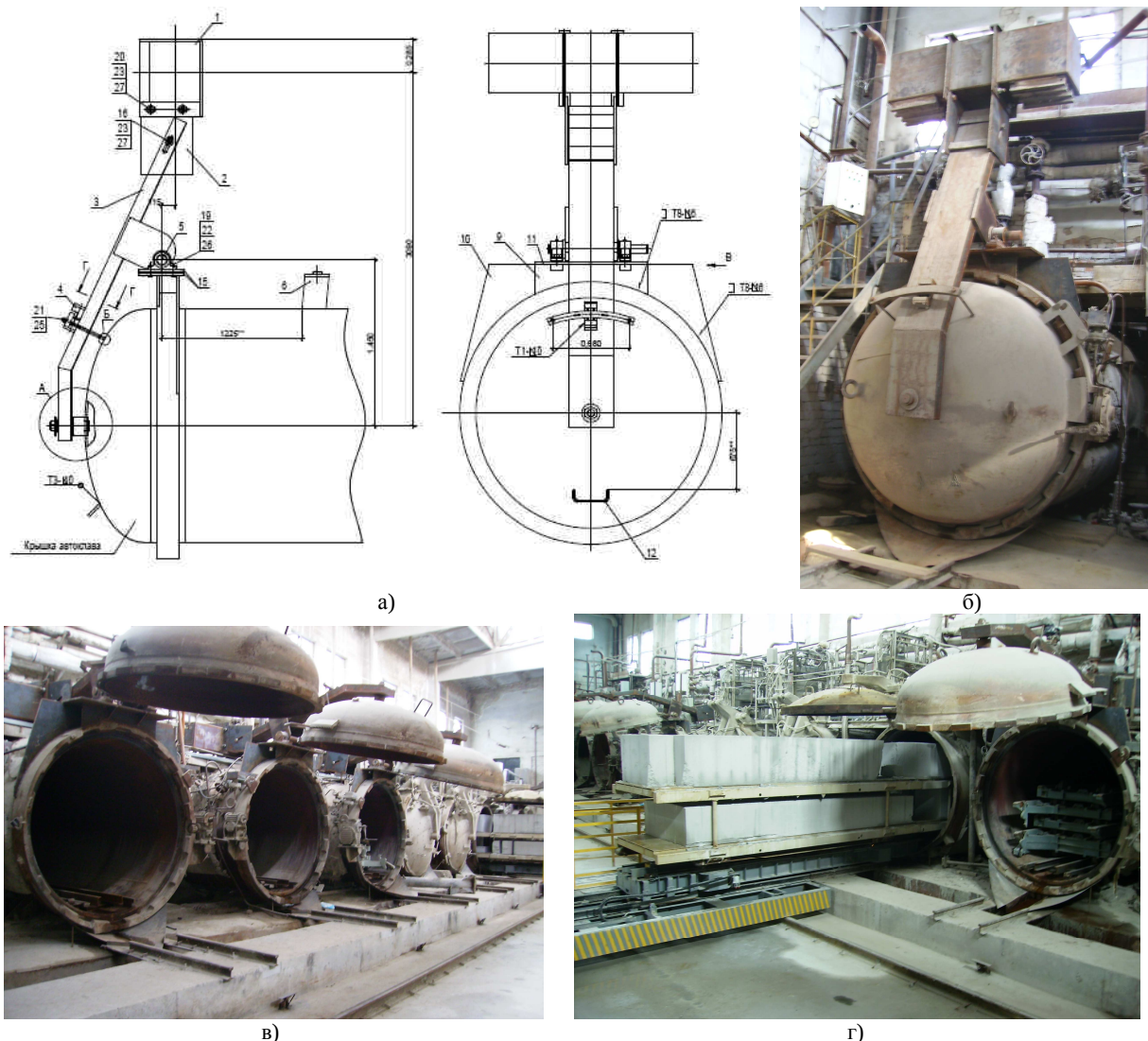


Рисунок 1 – Конструкция устройства ручного открытия крышки автоклава в условиях ПАО «Таврическая строительная компания» г. Херсон: а) – сборочный чертеж устройства по проекту ПАО «УКРНИИХИММАШ» (г. Харьков); б) – изготовленная конструкция (закрытое состояние); в) – автоклавный ряд для изготовления газобетона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

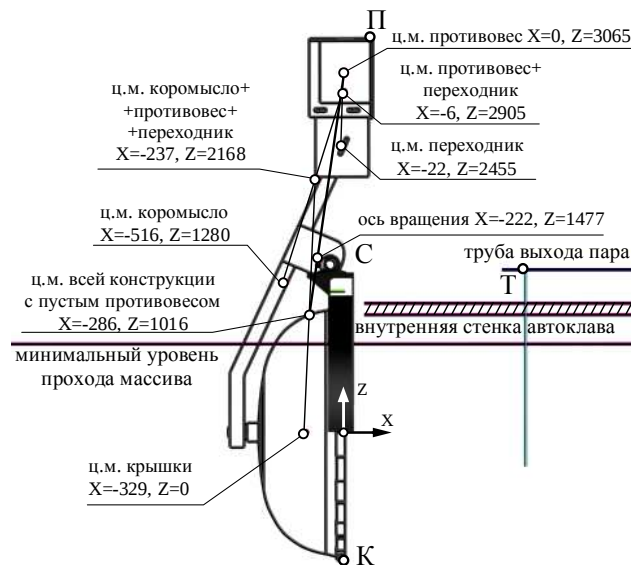


Рисунок 2 – Сетка положений центров масс звеньев конструкции РУ открытия автоклава

При таких значениях массы, даже незначительное отклонение может приводить к существенным моментам. Расчет допустимых усилий в процессе открытия и закрытия произведен согласно приведенной схеме (рисунок 3, а), а область допустимых значений усилий открытия представлена поверхностью (рисунок 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 уравнивание РУ и нахождения центра масс всей системы и отдельных ее элементов, осуществляли при помощи компьютерного моделирования (рисунок 4, а), согласно которому искомый центр масс конструкции – ось вращения, определяется массой конструкции с пустым противовесом, центр масс противовеса и массой противовеса.

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] $R_c \cdot \cos(\theta) \cdot G_k \leq M_{TP}$.

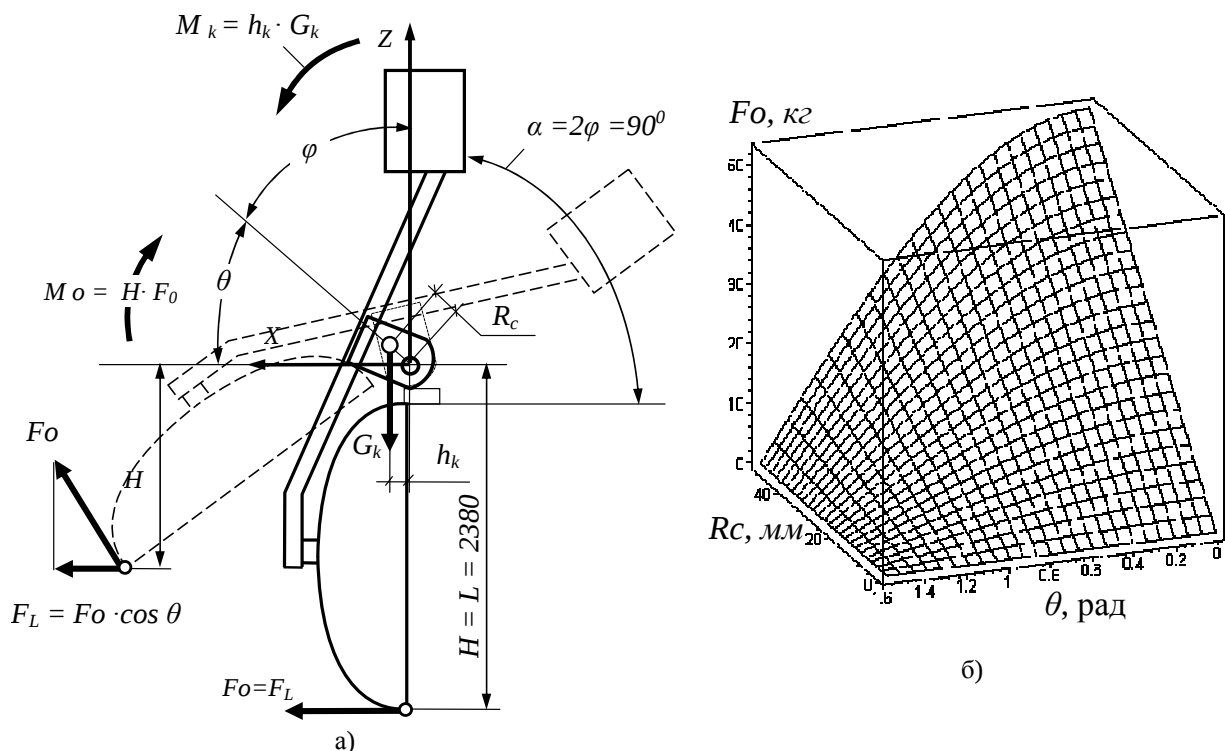


Рисунок 3 – Определение допустимых значений усилия открытия:
а) – расчетная схема; б) – область допустимых значений

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

$$x_c = \sum (G_i x_i) / \sum (G_i); y_c = \sum (G_i y_i) / \sum (G_i); z_c = \sum (G_i z_i) / \sum (G_i),$$

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.

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 (рисунок 4, а линия $\varepsilon - \varepsilon$). В этом случае для уравнивания необходимо конструктивно переносить центр вращения

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

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, (рисунок 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 .

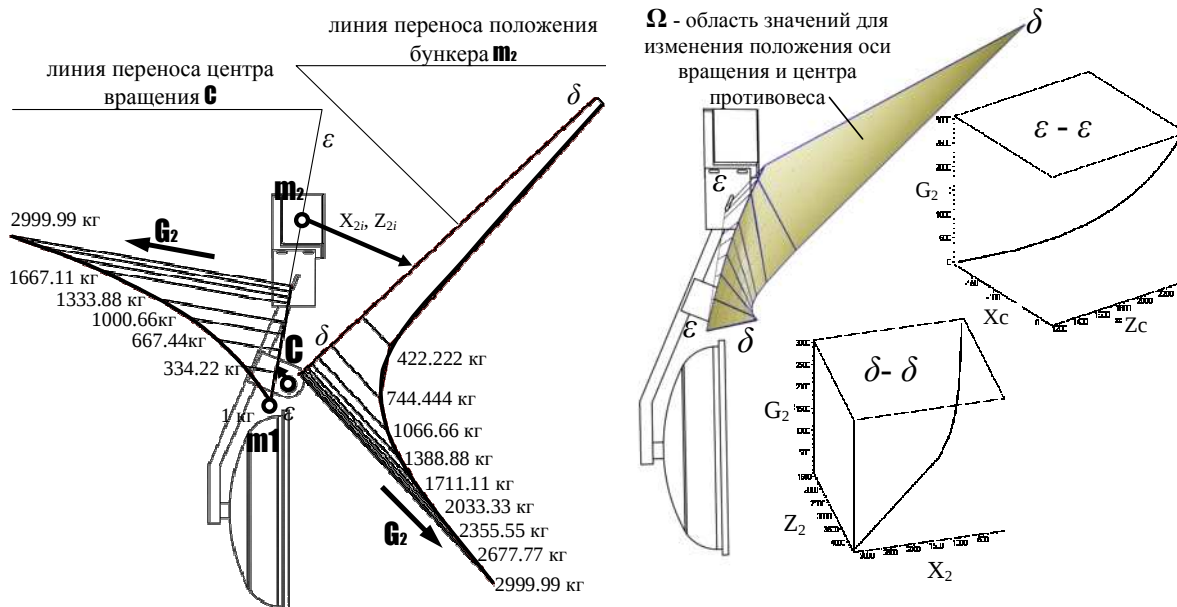


Рисунок 4 – Варианты размещения центров вращения и противовеса : а) – линии переноса координат и значения масс ; б) – поверхность возможных значений координат положений центра вращения

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 схемы (рисунок 5), получена зависимость от переменных значений координат центров масс указанных элементов в различных положениях

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

где X_n, Z_n - координата противовеса максимального габаритного размера бункера противовеса; X_C, Z_C - координата центра вращения.

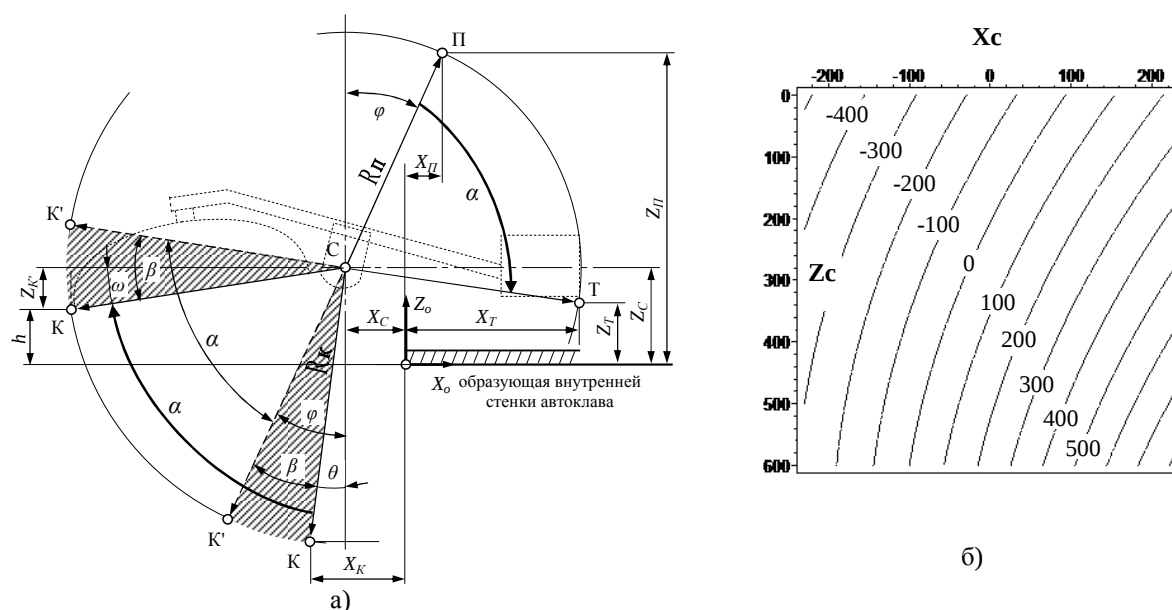


Рисунок 5 – Анализ условия открытия крышки автоклава: а) – расчетная схема углов открытия и положений механизма б) – линии уровня: значения расстояний h

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.

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.

Библиографический список использованной литературы

1. 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.

Поступила в редакцию 19.03.2013 г.

Селіверстов І.А., Дмитрієв Д.О., Подольський М.І. Конструктивний аналіз важільного пристрою відкриття автоклава

Проведений структурний і параметричний аналіз геометричних характеристик ланок і працездатності вважильного механізму, що дозволяє здійснювати ручне переміщення великих об'єктів великої маси і безпосередньо відкриття автоклава для виготовлення газобетону.

Ключові слова: центр-масові характеристики, моделювання, рівновага, балансування, статичний момент.

Seliverstov I.A., Dmitriev D.O., Podolsky M.I. Constructive analysis of the lever device of autoclave opening

The structural and parametrical analysis of geometrical characteristics of links and working capacity of the lever mechanism is carried out, allowing to carry out manual moving of large-sized objects of the big weight and opening of an autoclave for manufacturing porous concrete.

Keywords: center-mass characteristics, modeling, balance, the balancing, the overturning moment.