

МРНТИ 55.30.01

РОБОТТУК КОМПЛЕКСТИН ТҮРТҮҮЧҮ ӨЗӨКТӨГҮ ЧЫҢАЛУУЛАРДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛДЫК АНЫКТОО

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В СТЕРЖНЕ РАСТАЛКИВАТЕЛЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF STRESSES IN THE PUSHER ROD OF A ROBOTIC COMPLEX

А.К Тулешов. А.Ж. Сейдахмет, А.А., Джомартов
A.K Tuleshov. A.Zh. Seydakhmet, A.A., Jomartov

Иштин жүрүшүндө роботтук комплекстин түртүүчү өзөктөгү чыңалууну эксперименталдык изилдөөлөр жүргүзүлдү, алар көлөмдөгү материалды түрткөндө пайда болот. Стресссти өлчөө үчүн тензометрлер жогорку чекиттеги түртүүчү рамка таякчасына чапталган. Тензометрлер ZET 058 тензометрлердин өлчөө системасына туташтырылган. Түртүүчү өзөктөгү чыңалууларды эксперименталдык изилдөөлөрдүн натыйжалары бычактын көлөмдүү материалга кирүүсүнүн ар кандай тереңдиктеринде да, ошондой эле анын ар кандай нымдуулук маанилеринде да берилген. АРМ Winmachine тутумуда түртүүчүнүн өзөк-жартактын чектүү элементтеринин үлгүсүн колдонуу менен түртүүчү калакчага таасир этүүчү күчтөр аныкталат.

В работе проведены экспериментальные исследования напряжений в стержне расталкивателя робототехнического комплекса, возникающие при расталкивании сыпучего материала. Для измерения напряжений в верхней точке на стержне рамы толкателя были приклеены тензорезисторы. Тензорезисторы подключены к измерительной системе тензометрических датчиков ZET 058. Приведены результаты экспериментальных исследований напряжений в стержне расталкивателя как при различных глубинах внедрения лопатки в сыпучий материал, так и при ее различных величинах влажности. С использованием стержнево-пластинчатой конечно-элементной модели расталкивателя в системе АРМ Winmachine определены силы, действующие на лопатку расталкивателя.

The paper presents experimental studies of stresses in the pusher rod of the robotic complex that arise when pushing bulk material. To measure stresses, strain gauges were glued to the top point of the pusher frame rod. The strain gauges are connected to the ZET 058 strain gauge measuring system. The paper presents the results of experimental studies of stresses in the pusher rod at different depths of blade penetration into bulk material and at different moisture

contents. Using the rod-plate finite element model of the pusher in the APM Winmachine system, the forces acting on the pusher blade are determined.

Түйүн сөздөр: декарттык робот, жеткирүү жана таңгактоочу контейнер; капкак; түртүүчү, кадимки чыңалуу, өзөк, жартак.

Ключевые слова: декартов робот, транспортировочный и упаковочный контейнер; люк; толкатель, нормальные напряжения, стержень, пластина.

Keywords: cartesian robot, shipping and packaging container; hatch; pusher, normal stresses, rod, plate.

1. Введение

В данной статье предлагается конструкция декартового робота с рабочим органом, предназначенным для расталкивания сыпучих материалов, порционно загружаемых в транспортно-упаковочный контейнер. В разработанной авторами схеме рабочий орган выполнен в прямоугольной форме с лопатками в виде ячеек, что позволяет проводить расталкивание в плоскости в двух направлениях. Схема конструкции декартового робота выполнена в виде металлического каркаса размером 2517x1660x2080 мм (рис. 1а). Конструкция 3-осевой системы промышленного декартового робота разработана для автоматизации расталкивания загруженных материалов в транспортно-упаковочный контейнер ТУК 118 (рис. 1б). Основным требованием, лежащим в основе разработки декартового робота, является быстрое и безопасное расталкивание сыпучего материала, загружаемого в люк контейнера из установленной сверху стационарной трубы несколькими порциями.

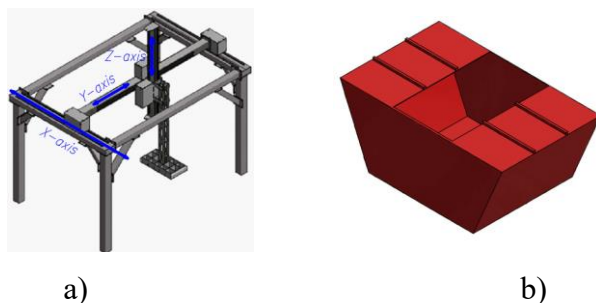


Рисунок 1 – Декартовый робот(а); транспортно-упаковочный контейнер ТУК 118 (b)

2. Экспериментальное определение силы действия сыпучего материала на лопатку при расталкивании

На опытно-промышленном образце расталкиватель изготовлен в виде рамы, сваренной из профиля квадратного поперечного сечения (рис. 2 а). При засыпке сыпучего материала в люк транспортно-упаковочного контейнера сыпучий материал имеет вид конуса. Декартовый робот начинает выравнивать конус засыпанного материала движениями расталкивателя по осям X, Y параллельно дну контейнера, начиная с вершины конуса.

Для точного измерения силы давления сыпучего материала при различной влажности на лопатки расталкивателя была использована тензонометрическая система ZET 058 [11]. Для измерения напряжений в стержне толкателя использовались тензорезисторы из фольги.



а)



б)

Рисунок 2 – Фотография расталкивателя(а); точка наклейки тензорезистора на стержень расталкивателя (б)

Тензорезистор был приклеен к верхней точке на стержне рамы толкателя, чтобы определить напряжения, возникающие при расталкивании сыпучего материала (рис. 2 б). Тензорезисторы подключены к измерительной системе тензонометрических датчиков ZET 058, которая вместе с программным обеспечением ZETLAB TENZO версии № 2020.11.30 (ООО "ЗЕТЛАБ", Москва, Зеленоград, Россия) позво-

ляет собирать информацию с тензорезисторов в режиме реального времени по восьми каналам одновременно.

Как видно из рисунка 3, экспериментальная кривая нормально-го напряжения, записанная в точке стержня рамы, имеет максимальное напряжение, равное 8,4 МПа при глубине внедрения 4 см, и минимальное значение, равное 3,8 МПа при глубине внедрения 1 см. Поскольку запись проводилась при расталкивании на слое в середине конуса сыпучего материала, к концу расталкивания напряжения уменьшаются. С связи с тем, что лопатки передвигаются с трением по модельному порошку, рама толкателя изгибается под действием сил сопротивления. Двигатель, передвигающий расталкиватель, имеет ограниченную мощность, когда потенциальная энергия вместе с энергией от привода превышает сопротивление при перемещении сыпучего материала, происходит рывок вперед. Таким образом, расталкиватель передвигается во время работы рывками, на графике на рисунке 3 видно, что при превышении мощности двигателя и силы, аккумулированной в стержне толкателя, происходит передвижение вперед (напряжение в стержне падает).

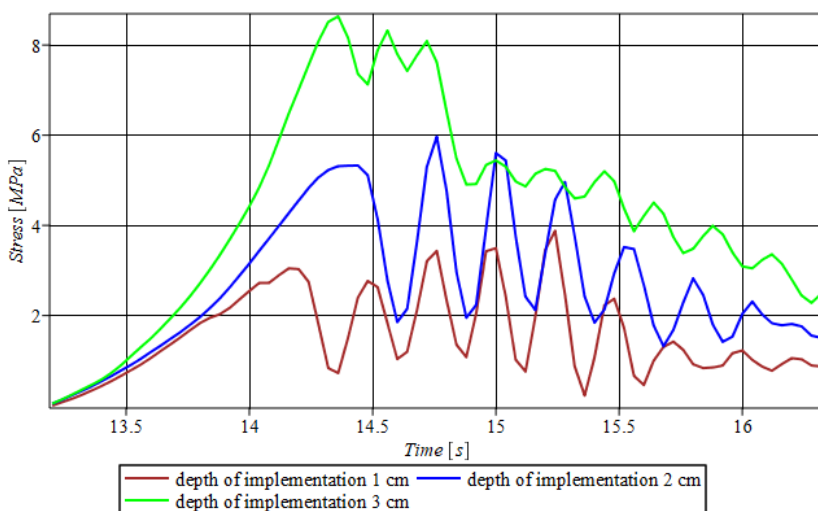


Рисунок 3 – Экспериментальное измерение нормальных напряжений в точке стержня расталкивателя при различной глубине внедрения лопаток в сыпучий материал

На рисунке 4 показан график изменения напряжения в стержне толкателя при расталкивании сыпучего материала в слое ниже середины засыпанного в контейнер конуса материала. Как видно из графика на рисунке 4, напряжение доходит отметки постоянное около 4 МПа.

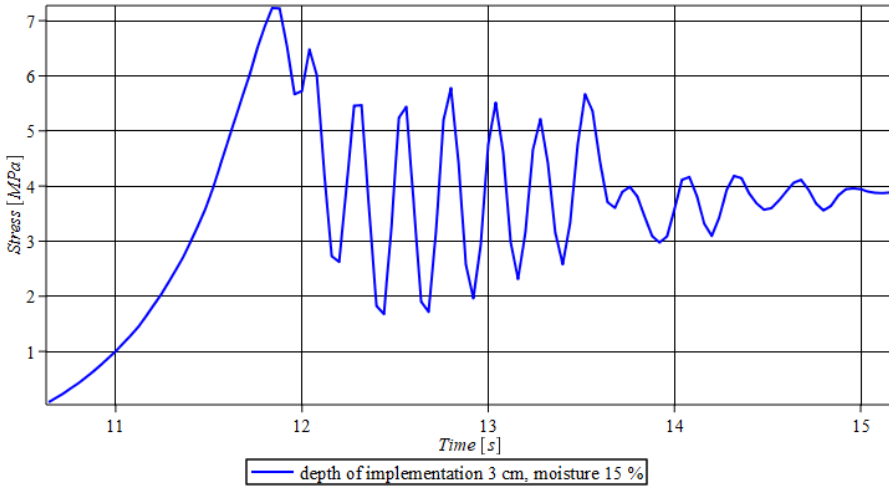


Рисунок 4 – Экспериментальное изменение нормальных напряжений в точке стержня расталкивателя при глубине внедрения лопаток 3 см в сыпучий материал и расталкивании сыпучего материала на слое ниже середины конуса

Для определения силы давления сыпучего материала на лопатку расталкивателя было проведено экспериментальное определение нормальных напряжений как при различных глубинах внедрения лопатки в сыпучий материал (1 см, 2 см, 3 см, 4 см), так и при различных величинах влажности (7%, 15%, 20%, 25%, 30%). В таблице 1 показано экспериментально измеренное максимальное значение нормального напряжения расталкивателя при различных глубинах внедрения лопатки в сыпучий материал и различных величинах влажности сыпучего материала.

Испытания на расталкивание конуса сыпучего материала при различных загрузках и смещении конуса по горизонтали показали, что значение нормального напряжения в стержне расталкивателя зависит от глубины внедрения лопатки в сыпучий материал и его

влажности. При увеличении глубины внедрения лопаток в материал и увеличении влажности материала напряжения в стержне толкателя повышаются.

Таблица 1 – Максимальное значение нормального напряжения в расталкивателе

(МПа)

Глубина внедрения лопаток	Влажность				
	7%	15%	20%	25%	30%
1 см	1,83	1,319	0,919	0,282	1,06
2 см	3,87	2,98	3,53	2,15	3,49
3 см	5,96	7,223	8,38	7,65	7,79
4 см	7,63	7,68	10,66	13,15	13,85

Для определения силы, действующей на лопатку расталкивателя, была составлена стержнево-пластинчатая конечно-элементная модель расталкивателя с лопатками в системе APM Winmachine. Сила моделировалась в виде распределенной нагрузки, действующей на пластину (рис.5). На рисунке 5а показана стержнево-пластинчатая конечно-элементная модель расталкивателя при глубине внедрения лопатки в сыпучий материал на 3 см и влажности сыпучего материала 15%.

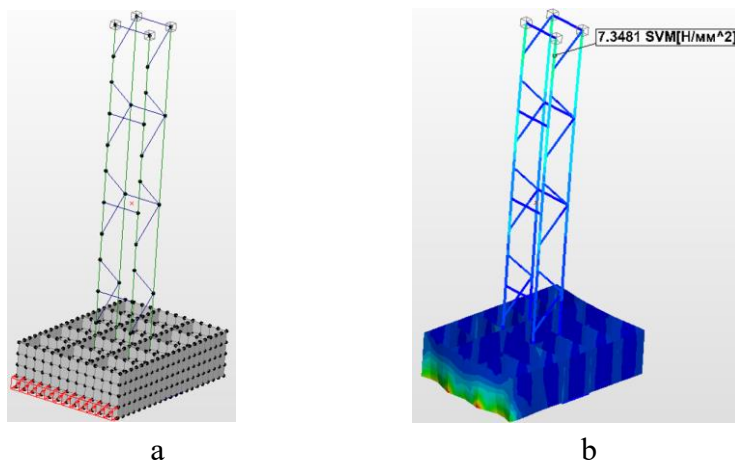


Рисунок 5 – Стержнево-пластинчатая конечно-элементная модель расталкивателя с лопатками(а); картина распределения нормальных напряжений расталкивателя (б)

На рисунке 5 б показана картина распределения напряжений в расталкивателе. Интенсивность распределенной нагрузки, действующая на пластину, подбиралась такой, чтобы напряжение в точке измерения стержня тензодатчиком было около 7,2 МПа. При этом сила P получилась равной 140 Н.

В таблице 2 показаны максимальные значения силы давления сыпучего материала на лопатку расталкивателя, рассчитанные в системе APM Winmachine при различных глубинах внедрения лопатки в сыпучий материал и различных величинах влажности.

Таблица 2 – Максимальное значение силы давления на лопатку расталкивателя

(Н)

Глубина внедрения лопаток	Влажность				
	7%	15%	20%	25%	30%
1 см	35,47	25,5	17,8	5,46	20,54
2 см	75	57,76	68,42	41,67	67,64
3 см	115,5	140	162,4	148,27	151
4 см	147,89	148,8	206,6	254,88	268,45

Как видно из таблицы 2, значение силы давления увеличивается в зависимости от увеличения глубины внедрения лопатки в сыпучий материал и увеличения влажности модельного порошка. Для того, чтобы деформация стержня расталкивателя не превышала допустимых деформаций с учетом повышенной плотности и влажности некоторых рабочих материалов, необходимо работать при глубине внедрения лопатки в сыпучий материал не более 1–2 см.

Информация о финансировании

Работа выполнена в рамках программы BR20280990 «Разработка и развитие методов решения фундаментальных задач механики жидкости и газа, новых деформируемых тел, надежности и энергоэффективности машин, механизмов, робототехники» ИММаш им. У.А. Джолдасбекова.

Литература

1. Craig, J.J.: *Introduction to Robotics: Mechanics and Control*. Pearson/Prentice Hall, Upper Saddle River (2005)
2. Musa, H.I., Umar, A.U., Olatunde, M. A., Oyedeji, A.N.: Development and performance evaluation of a bricklaying gantry-based parallel robot manipulator. *The Islamic University Journal of Applied Sciences (JESC)* Volume V, Issue I, July 2023. pp 71-90.
3. Chandrashekhar, K., Vaibhavi, T.: *Design and Fabrication of X-Y Gantry Mechanism using Python: A Review*. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRA-SET)*. ISSN: 2321-9653; Volume 10 Issue VI June 2022.
4. ТОО «МАШЗАВОД» — флагман машиностроения в атомной отрасли Казахстана. Available online: <https://smkz.kz/too-mashzavod-flagman-mashinostroeniya-v-atomnoj-otrasli-kazaxstana/> (accessed on 30 11 2024)
5. Gang, X.: *The dynamic characteristic analysis on Cartesian coordinate Robot*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 474 (2020) 032003. doi:10.1088/1755-1315/474/3/032003
6. Perez, C., Reinoso, O., Garcia, N., Sabater, J. M., Gracia, L.: *Modeling of a Direct Drive Industrial Robot*. World Academy of Science, Engineering and Technology. *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, Vol:2, No:12, 2008.
7. Sánchez-Sánchez, P., Reyes-Cortés, F.: *Cartesian Control for Robot Manipulators*. *Robot Manipulators Trends and Development*. 2010, pp 165-211. doi: 10.5772/218
8. Mahir, A.I.I, Deng, S.P., Qi, Y.M. *Gantry Robot Dynamic Analysis Based on Lagrange's Motion Equation*. 2016 Trans Tech Publications, Switzerland, ISSN: 1662-9795, Vol. 693, pp 1741-1746. doi:10.4028/www.scientific.net / KEM.693.1741.
9. Tadele, B.T.: *Mathematical modeling and dynamic simulation of gantry robot using bond graph*. *Information and Communication Technology for Development for Africa: First International Conference, ICT4DA 2017, Bahir Dar, Ethiopia, September 25–27, 2017, Proceedings 1*. pp 228-237.

10. Mahir, A.I.I., Mohammed, K.M.: *Gantry Robot Kinematic Analysis User Interface Based on Visual Basic and MATLAB*. International Journal of Science and Research (IJSR). ISSN (Online): 2319-7064. Volume 4 Issue 2, February 2015.
11. Felis J., Jaworowski H., Cieslik J.: *Teoria maszyn i mechanizmow. Czesc I. Analiza mechanizmow*. UWND AGH, Krakow 2008.
12. Seidakhmet, A., Tuleshov, A., Jamalov, N., Jomartov, A., Cieslik, J., Abduraimov, A., Kamal, A., Kaliyev, M., Bissembayev, K.: *Research of Kinematics and Dynamics of the Lever Lifting Mechanism Used in the Mobile Automotive Lift*. MDPI Applied Sciences 2023, Volume 13, Issue 20, 11361; <https://doi.org/10.3390/app132011361>