

ла для тепловых агрегатов, литейных установок, в особенности в металлургической отрасли. Известно, что Республика Беларусь не располагает производством таких изделий, что приводит к необходимости приобретения их за рубежом. Организация производства технической керамики в Республике Беларусь является первостепенной задачей, которую необходимо решить для существования станкостроительной и машиностроительной отрасли. Изготовление опытных образцов осуществлялось методом полусухого прессования. Подготовленные сырьевые компоненты измельчали до остатка на сите № 05 1–2 %, взвешивали в необходимом количестве, подвергали совместному помолу в микрошаровой мельнице в течении 20 мин. Приготовленная смесь увлажнялась до влажности 6–8 %, затем готовый пресс-порошок вылеживался в течении 1 сут. для усреднения по составу и влажности. Формование образцов осуществлялось на гидравлическом прессе при давлении прессования 20–25 МПа. Далее производилась сушка образцов при температуре 100 ± 10 °С в течении 2 ч, после чего осуществлялся однократный обжиг в электрической печи в интервале температур 1000–1300 °С. Скорость подъема температуры в процессе обжига составляла 200–250 °С/ч. Образцы охлаждались инерционно вместе с печью до комнатной температуры. Для получения керамики на основе синтетического волластонита в качестве исходных сырьевых материалов использовались следующие компоненты: мел ОАО «Красносельскстройматериалы», доломитовая мука, циклонная пыль с известкового цеха (г. Климовичи), маршалит, трепел месторождения «Стальное», огнеупорная глина Веселовского месторождения. Образцы керамики, полученные на основе различных кремнеземсодержащих компонентов после обжига при температуре 1150 °С, характеризовались следующими показателями свойств: кажущаяся плотность при использовании доломитовой муки и трепела – 1329–11553 кг/м³, водопоглощение – 28,4–41,5 %, открытая пористость – 44,1–55,2 %; кажущаяся плотность в образцах, содержащих доломитовую муку и маршалит – 1233–1354 кг/м³, водопоглощение – 33,0–44,6 %, открытая пористость – 41,2–58,7 %; кажущаяся плотность при введении в состав масс мела и трепела – 1663–1735 кг/м³, водопоглощение – 20,8–24,0 %, открытая пористость – 36,1–40,2 %; кажущаяся плотность при введении в состав масс мела и маршалита – 1554–1602 кг/м³, водопоглощение – 27,1–30,1 %, открытая пористость – 43,4–45,0 %. Механическая прочность при сжатии образцов в зависимости от вида применяемого кремнеземсодержащего компонента при температуре 1150 °С: на основе трепела – 13,5–70,6 МПа; на основе маршалита – 1,8–26,9 МПа. Значения ТКЛР синтезированных образцов – от 4,20 до $8,30 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹. Рентгенофазовый анализ полученной керамики показал, что качественный фазовый состав представлен волластонитом и псевдоволластонитом, низкотемпературной модификацией кварца, в незначительном количестве фиксируются тридимит, неустойчивое соединение Ca₂SiO₄, а также в некоторых образцах состава присутствуют не связанный кварц и оксид кальция.

УДК 528.7

ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ КАЛИБРОВКА КАМЕРЫ МОБИЛЬНОГО ТЕЛЕФОНА ПО СНИМКАМ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ТЕСТ-ОБЪЕКТА

Радцевич Е. И., Андрейчиков В. В., Будкевич К. С.

Белорусский национальный технический университет

e-mail: radtsevich.elizaveta@gmail.com, mr-andreychikov@mail.ru,

karinabudkevich10.08@gmail.com

Summary. *The process of photogrammetric calibration of a mobile phone camera is described in order to determine the elements of interior orientation, including the parameters of photogrammetric distortion of the camera lens. An assessment of the reliability and validity of the experimental data was made.*

В процессе изучения дисциплины «Прикладная фотограмметрия» возникла необходимость выполнения экспериментальной наземной фотограмметрической съемки камерой телефона MI 11 Lite с разрешением 2610×4640 пикселей и фокусным расстоянием 4,74 мм. Так как цифровая камера телефона является любительской, нельзя предполагать долговременную стабильность механических и оптических компонентов, как в случае со специальными метрическими камерами, возникает необходимость ее калибровки с целью определе-

ния элементов внутреннего ориентирования, включая параметры фотограмметрической дисторсии объектива съёмочной камеры.

Уменьшить влияние дисторсии объектива камеры можно учтя поправки за дисторсию в координаты измеренных точек на снимке, которые описываются следующими уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} d_x &= x(r^2 k_1 + r^4 k_2 + r^6 k_3 + \dots) + (r^2 + 2x^2)p_1 + 2xyp_2; \\ d_y &= y(r^2 k_1 + r^4 k_2 + r^6 k_3 + \dots) + (r^2 + 2y^2)p_2 + 2xyp_1. \end{aligned} \right\} \#(1)$$

где x, y – координаты точек снимка; k_1, k_2, k_3 – коэффициенты радиальной дисторсии; p_1, p_2 – коэффициенты тангенциальной дисторсии объектива; $r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$ – расстояние от точки изображения до главной точки.

Поскольку достижимая точность измерения в пространстве объекта всегда зависит от текущего масштаба изображения в фотограмметрии, необходимо стремиться к чрезвычайно малой погрешности измерения координат в пространстве изображения. Обычно они находятся в диапазоне от 0,5 до 0,02 пикселей.

Для целей фотограмметрической калибровки камеры мобильного телефона на кафедре «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии» БНТУ создан пространственный тест-объект с определением пространственных координат точек тест-объекта методом прямой геодезической засечки, с помощью электронного тахеометра Nikon 3DR, обеспечивающего измерение горизонтальных и вертикальных углов со СКП 5".

Съемка пространственного тест-объекта объекта осуществлена многократно с поворотом камеры вокруг оптической оси объектива на 180° с целью повышения надежности и достоверности определения элементов внутреннего ориентирования калибруемой камеры.

Процесс калибровки камеры, то есть уточнение коэффициентов радиальной и тангенциальной дисторсии, выполнен в программном продукте Agisoft Photoscan.

После импорта фотографий в программу выполнено их выравнивание. На этой стадии определяется положение и ориентация камеры для каждого кадра, строится разреженное облако точек. После импорта координат маркированных точек, измерены все маркированные точки пространственного тест-объекта на каждом снимке с высокой точностью. Выполнена оптимизация положения фотографий, с предварительно отключенными снимками, с целью исключения навигационной привязки камер.

Для сохранения данных фотограмметрической калибровки камеры в окне «Калибровка камеры» (рис. 1) выбором пункта «Калибровка камеры» в меню «Инструменты» необходимо перейти на вкладку «уточненная» и сохранить параметры.

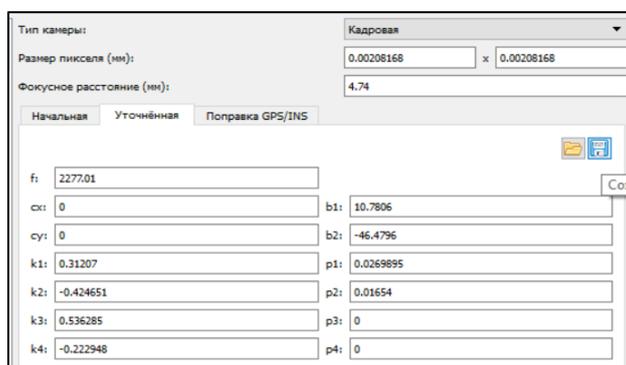


Рисунок 1 – Сохранение параметров калибровки

Заключительным этапом обработки в программе Agisoft Photoscan выполнено формирование и анализ программного отчета об обработке. На рис. 2 представлен фрагмент программного отчета, согласно которому общее значение погрешности координат измеренных на снимке точек не превышает 0,5 пикселя.

Количество	Ошибка, X (мм)	Ошибка, Y(мм)	Ошибка, Z (мм)	Ошибка XY(мм)	Общая (мм)	Фото (пикс)
124	14.2327	10.1682	5.43977	17.4918	18.3181	0.364

Таблица 2. СКО по опорным точкам.

Рисунок 2 – Фрагмент программного отчета об обработке

Однако с целью проведения оценки надежности и достоверности полученных экспериментальных данных произведено дополнительно семь съемок пространственного тест-объекта с последующей калибровкой камер. Выполнено выявление 5 % значений, которые являются недостоверными и оценка сходимости теоретических и практических значений при доверительной вероятности $P = 95\%$ (рис. 3).

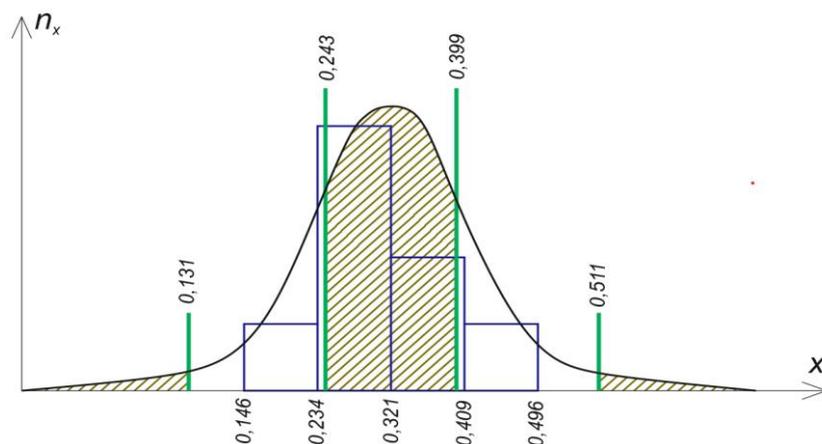


Рисунок 3 – Гистограмма и аппроксимированная кривая распределения изучаемой величины

В результате можно сделать вывод, что сходимость при значении доверительной вероятности $P = 95\%$ признается удовлетворительной, а среднее экспериментальное значение равное 0,321 пикселей признается достоверным, что не превышает 0,5 пикселя и говорит о возможности применения камеры мобильного телефона MI 11 Lite с фокусным расстоянием 4,74 мм для производства наземной съемки с предварительной фотограмметрической калибровкой.

УДК 622.6(075.8)

КУРСОВАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ЩЕЛЕНАРЕЗНОЙ МАШИНЫ ПРИ НАРЕЗАНИИ БОКОВОЙ ЩЕЛИ В ПОЧВЕ ВЫРАБОТКИ

Савчук Д. А., Довидович А. А., Басалай Г. А.

Белорусский национальный технический университет

e-mail: saw7ukden@gmail.com

Summary. *The analysis of the course stability of a caterpillar slot-cutting machine with an executive body “chain bar” when cutting a side slot in the working soil was carried out.*

При разработке Старобинского месторождения калийных руд подземным способом весьма эффективным мероприятием, повышающим устойчивость горных выработок, оказалось нарезание компенсационных щелей. При их помощи снижается горное давление в толще массива, примыкающего к выработкам. За счет этого уменьшается пучение породы по контуру выработки и ее выброс в пространство выработки. Щели нарезаются в почве и кровле выработок, а также в боковых стенках, т. е. фактически по всему их периметру. Естественно, использование компенсационных щелей не позволяет обеспечить полностью крепление гор-