

УДК 693.22:624.04

*НУГУЖИНОВ ЖМАГУЛ СМАГУЛОВИЧ, докт. техн. наук, профессор,
kazmirr@mail.ru*

*Казахстанский многопрофильный институт реконструкции и развития,
100027, Республика Казахстан, г. Караганда, пр. Бульвар Мира, 56,
КОПАНИЦА ДМИТРИЙ ГЕОРГИЕВИЧ, докт. техн. наук, профессор,
kopanitsa@mail.ru*

*КОШАРНОВА ЮЛИЯ ЕВГЕНЬЕВА, студентка,
kosharnova-yu@yandex.ru*

*УСТИНОВ АРТЕМ МИХАЙЛОВИЧ, аспирант,
artemustinov@bk.ru*

*УСЕИНОВ ЭМИЛЬ СЕЙРАНОВИЧ, мл. научный сотрудник,
useinov_em@mail.ru*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЛЕГЧЕННОЙ КИРПИЧНОЙ КЛАДКИ НА ЦЕНТРАЛЬНОЕ И ВНЕЦЕНТРЕННОЕ НАГРУЖЕНИЕ

В статье приведены результаты экспериментального исследования образцов фрагмента стены из каменной кладки колодецевого типа на действие кратковременной статической нагрузки. Цифровой оптической системой измерений VIC3D, основанной на методе корреляции цифровых изображений, определены картины деформирования боковой поверхности образцов в процессе нагружения. Для испытанных образцов выделены основные стадии деформированного состояния. Установлены значения модуля упругости и напряжений на всех стадиях работы образцов при центральном и внецентренном сжатии.

Ключевые слова: кирпичная кладка; сжатие; экспериментальный образец; стадия работы; деформированная поверхность; нагрузка.

*ZHMAGUL S. NUGUZHINOV, DSc, Professor,
kazmirr@mail.ru*

*Kazakh Multidisciplinary Reconstruction and Development Institute,
56, Mira Blvd., 100027, Karaganda, Republic of Kazakhstan,
DMITRY G. KOPANITSA., DSc, Professor,
kopanitsa@mail.ru*

*JULIA E. KOSHARNOVA., Student,
kosharnova-yu@yandex.ru*

*ARTEM M. USTINOV., Research Assistant,
artemustinov@bk.ru*

*EMIL S. USEINOV, Junior Scientist,
useinov_em@mail.ru*

*Tomsk State University of Architecture and Building,
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia*

EXPERIMENTAL RESEARCH OF HOLLOW MASONRY UNDER CENTRIC AND ECCENTRIC LOADS

The paper presents experimental research of hollow masonry fragment under static load. VIC-3D digital optical system is used to detect lateral surface deformations using the correlation technique of digital images. The main stages are detected for the masonry fragments. The values of the elasticity modulus and stresses are obtained for all stages of masonry behavior under centris and eccentric loads.

Keywords: brickwork; compression; masonry; work stage; deformed surface; load.

Введение

При возведении наружных стен в целях экономии кирпича и снижения массы здания наряду с кладкой из легких каменных материалов применяют облегченные кладки, в которых часть камней заменяют легким бетоном, засыпками или теплоизолирующими прослойками. Наиболее распространены кирпичные стены облегченных конструкций с горизонтальными кирпичными диафрагмами, а также стены колодцевой кладки [1].

В настоящее время проектирование стен с применением каменной кладки регламентируется СП 15.13330.2012 «Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22–81». В 1987 г. вышло пособие к СНиП II-22–81, где были приведены технические решения наружных стен из многослойных кладок, позволявшие возводить здания высотой не более пяти этажей. Одной из причин ограничения высоты стен с соединением слоев кирпичными диафрагмами является опасность среза кирпичных диафрагм при сдвиге наружного и внутреннего слоев относительно друг друга [2, 3].

Для предотвращения аварийных ситуаций и обеспечения безопасности жизни людей необходимо проведение исследований реальной работы кладки и совершенствование методик расчета.

В настоящей статье приводятся результаты экспериментальных исследований натуральных фрагментов кирпичной кладки строящегося многоквартирного жилого комплекса «Юго-Восток» в г. Астане на действие статической нагрузки. Необходимость проведения указанных исследований вызвана длительными перерывами в строительстве и несогласованными решениями, внесенными в рабочий проект с увеличением этажности домов до 6.

Конструкция опытных образцов

Экспериментальные конструкции представляют собой фрагменты кладки, извлеченные из подоконной части стены здания. Общий вид извлекаемых фрагментов из стен здания представлен на рис. 1.

Кладка стен выполнена по серии 2.130-8 тип А64 из керамического пустотелого кирпича на цементно-песчаном растворе. Теплоизоляционный слой выполнен из керамзитобетона плотностью 1000 кг/м^3 . Схема экспериментальных образцов показана на рис. 2.

Методика проведения испытаний

Статические испытания вертикально установленных образцов проведены на гидравлическом прессе ПР-1000М. Общий вид образца, установленного в створ силовой рамы пресса, показан на рис. 3.



Рис. 1. Процесс извлечения фрагментов кирпичной кладки из стены здания

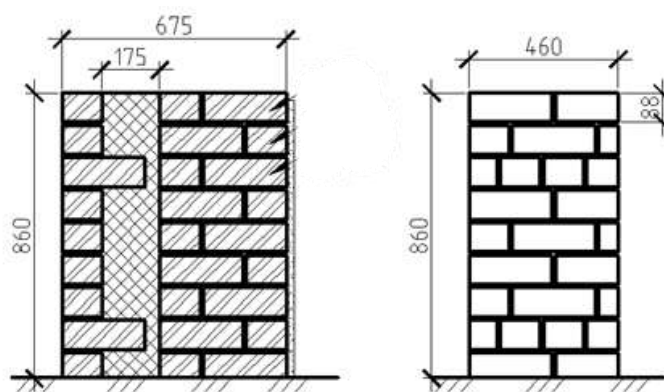


Рис. 2. Схема экспериментальных образцов



Рис. 3. Общий вид образца, установленного в створ силовой рамы гидравлического прессы ПР-1000М

Экспериментальные образцы КК-1 и КК-3 испытывались на действие центральной, а образцы КК-2 и КК-4 внецентренно приложенной сжимающей нагрузки. Схемы испытаний представлены на рис. 4.

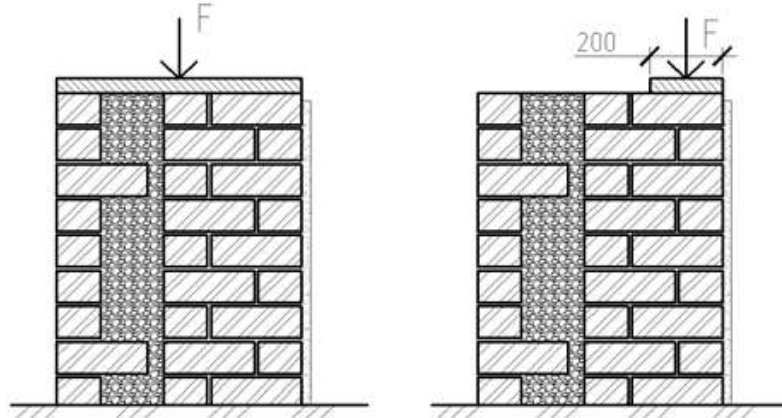


Рис. 4. Схемы испытаний образцов на центральное и внецентренное сжатие

Для обеспечения равномерной передачи нагрузки на нижнюю и верхнюю плоскость фрагментов кладки использовались стальные распределительные пластины.

Нагрузка на образцы прикладывалась по 50,0 кН на этапе испытаний. Последующее нагружение образца проводилось после стабилизации деформаций с выдержкой в течение трех минут.

Для измерения поверхностных перемещений и деформаций боковой грани образца при нагружении использовалась цифровая оптическая система Vic3D. Система обрабатывает цифровые стереоскопические изображения, полученные в процессе испытаний. В результате получаем модель исследуемой поверхности (координаты X , Y , Z точек), смещение точек (U , V и W , указывающие перемещения по осям координат X , Y и Z), относительные деформации (ε_{xx} – по оси X , ε_{yy} – по оси Y , ε_{xy} – деформации сдвига) [4].

Испытание каждого фрагмента сопровождалось фотофиксацией процесса трещинообразования. Все образцы доводились до разрушения.

Результаты испытаний

Результаты процесса деформирования представлены в виде изополей распределения перемещений и относительных деформаций боковой грани образца.

Результаты испытаний образца КК-1 представлены в табл. 1. В верхнем ряду слева направо приведены картины распределения вертикальных смещений точек боковой поверхности центрально-сжатого образца. Левая картина с равномерным распределением цветовой гаммы по грани образца отражает совместную работу внешнего облицовочного слоя кладки с керамзитобетонным слоем утеплителя и основным несущим слоем кирпичной стены.

Увеличение нагрузки до 76,5 кН привело к отслоению облицовочного и керамзитобетонного слоя от основной несущей части стены (стадия № 2).

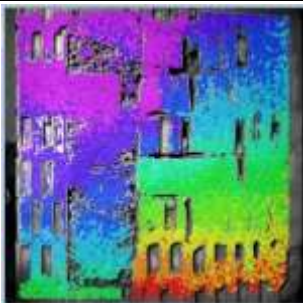
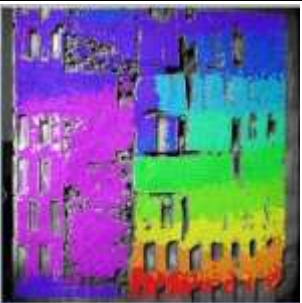
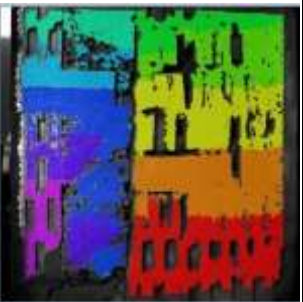

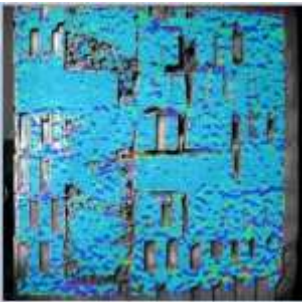
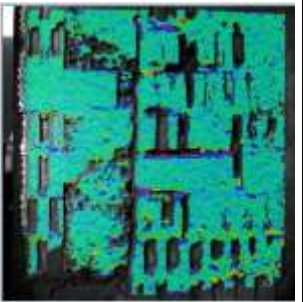
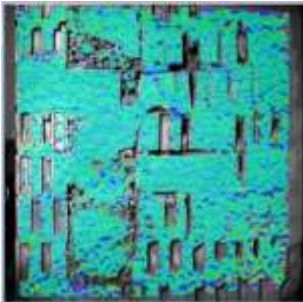
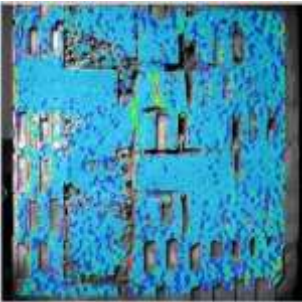
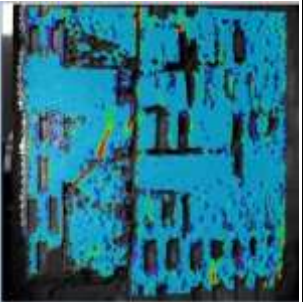
Это видно на средней картине. Образец разделился на две отдельно работающие части. При этом облицовочный слой кладки деформируется совместно с керамзитобетоном.

Увеличение нагрузки до 420,0 кН привело к активному трещинообразованию в теле несущей стены и фрагментарному разрушению керамзитобетонного слоя (стадия № 4).

Соответствующие картины распределения относительных деформаций ϵ_{xx} в горизонтальном направлении (ось X) и картины распределения относительных деформаций ϵ_{yy} боковой грани в вертикальном направлении (ось Y) показаны в табл. 1.

Таблица 1

Деформированная боковая поверхность кирпичной кладки экспериментального образца КК-1 при центральном сжатии

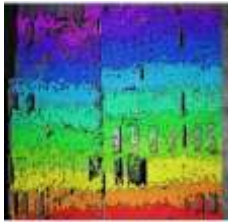

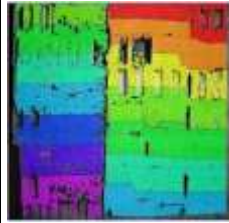
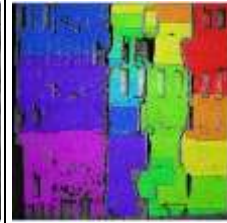



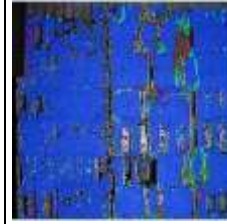

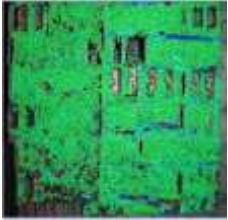
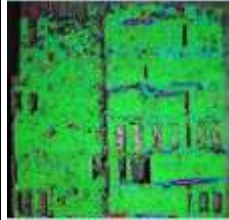
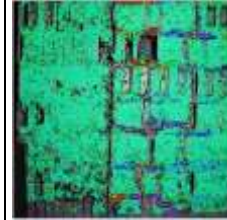
	Стадия № 1	Стадия № 2	Стадия № 4
Смещения			
ϵ_{xx}			
ϵ_{yy}			

Разрушение образца КК-1 при центральном сжатии произошло от действия нагрузки, равной 753,0 кН.

Экспериментальный образец КК-2 испытан на действие внецентренного сжатия. Результаты измерений приведены в табл. 2. Верхний ряд изображений отражает картину вертикальных смещений боковой поверхности по мере увеличения нагрузки слева направо. ϵ_{xx} – картины относительных деформаций поверхности кирпичной кладки в горизонтальном направлении (ось X). ϵ_{yy} – картины относительных деформаций боковой поверхности в вертикальном направлении (ось Y). В табл. 2 отражены четыре основных этапа работы опытного образца при внецентренном сжатии в зависимости от величины сжимающей нагрузки. Если рассматривать изображения в табл. 2 по столбцам, то одновременно можно видеть характер распределения перемещений по боковой поверхности и соответствующие им относительные деформации.

Таблица 2

**Деформированная боковая поверхность кирпичной кладки
экспериментального образца КК-2 при внецентренном сжатии**

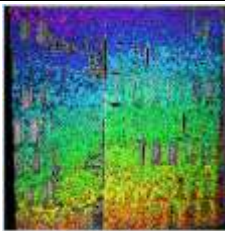
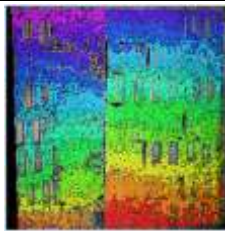


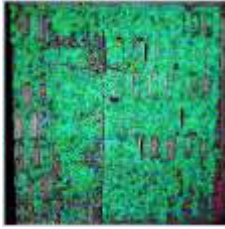
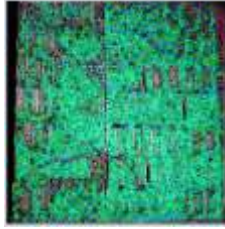
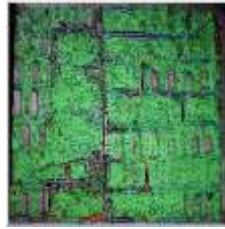
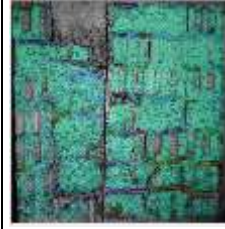
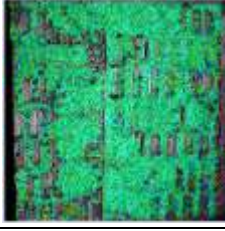
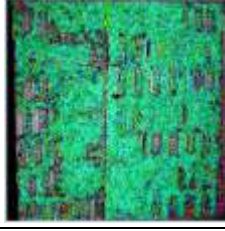


	Стадия № 1	Стадия № 2	Стадия № 3	Стадия № 4
Смещения				
ϵ_{xx}				
ϵ_{yy}				

Стадия № 1 отражает совместную работу конструктивных слоев образца. При увеличении нагрузки до 93,0 кН произошло отслоение облицовочного слоя кладки и керамзитобетонного от несущей стены (стадия № 2). Стадия № 3 соответствует нагрузке 236,0 кН и появлению трещин в несущей стене. Увеличение нагрузки до 346,0 кН привело к активному образованию трещин в несущей кирпичной стене (стадия № 4). Разрушение опытного образца произошло при действии сжимающей нагрузки, равной 451,0 кН.

Испытание образца КК-3 проведено на действие центрального сжатия. Результаты экспериментов в виде картин распределения смещений и относительных деформаций приведены в табл. 3. Отслоение облицовочного слоя кладки и керамзитобетонного от несущей стены произошло от действия нагрузки 67,0 кН (стадия № 2).

Таблица 3

Деформированная боковая поверхность кирпичной кладки экспериментального образца КК-3 при центральном сжатии

	Стадия № 1	Стадия № 2	Стадия № 3	Стадия № 4
Смещения				
ϵ_{xx}				
ϵ_{yy}				

При увеличении нагрузки до 324 кН произошло появление трещин в несущей стене (стадия № 3). Дальнейшее увеличение нагрузки до 574 кН привело к активному трещинообразованию в теле несущей стены (стадия № 4).

Полное разрушение образца КК-3 произошло при нагрузке 813,0 кН.

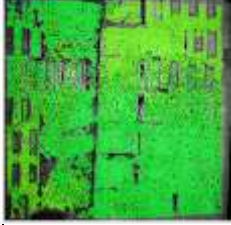


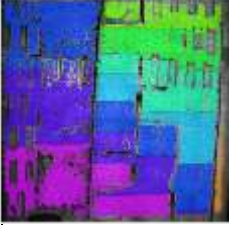
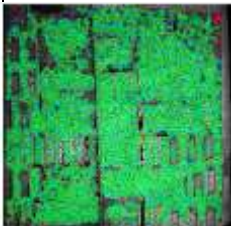
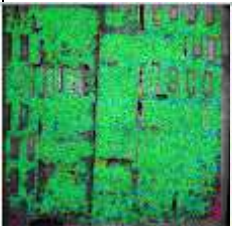
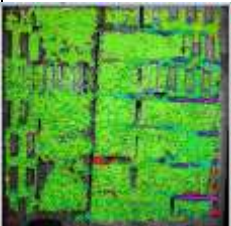





Экспериментальный образец КК-4 испытан на действие внецентренного сжатия. Результаты измерений приведены в табл. 4. В табл. 4 представлены изображения деформаций боковой поверхности кирпичной кладки по мере увеличения нагрузки.

Однородная окраска деформированной поверхности (стадия № 1), показанная в первом столбце, изменилась. Отслоение облицовочного слоя кладки и керамзитобетонного от несущей стены (стадия № 2) произошло от действия нагрузки 103,0 кН. Это видно при рассмотрении изображений смещений и относительных деформаций.

Конструкция разделилась на две части при нагрузке 274,0 кН.

Таблица 4

**Деформированная боковая поверхность кирпичной кладки
экспериментального образца КК-4 при центральном сжатии**

	Стадия № 1	Стадия № 2	Стадия № 3	Стадия № 4
Смещения				
ϵ_{xx}				
ϵ_{yy}				

Анализ картин распределения деформаций стадии № 4 показывает, что произошло частичное разрушение керамзитобетонного слоя и активное развитие трещин в несущей стене при нагрузке 437 кН.

Полное исчерпание несущей способности и разрушение образца КК-4 произошло при действии нагрузки 585,0 кН.

Образцы кирпичной кладки после разрушения от центрального сжатия и внецентренного сжатия показаны на рис. 6 и 7.



Рис. 6. Общий вид разрушения центрально-сжатых образцов

Рис. 7. Общий вид разрушения внецентренно сжатых образцов

Выводы

Результаты испытаний фрагментов кирпичной кладки на действие центрального и внецентренного сжатия показали следующее:

1. Для испытанных образцов определены четыре основные стадии деформированного состояния:

- первая соответствует работе фрагмента кладки без трещин;
- вторая соответствует появлению трещины между несущей стеной и керамзитобетонным утеплителем, объединенным с лицевой кладкой;
- на третьей стадии деформирования появились трещины в несущей стене;
- четвертая стадия характеризовалась активным трещинообразованием в несущей стене.

2. Установлено для центрально-сжатых образцов: отслоение лицевого слоя с керамзитобетоном от несущей стены произошло для образца КК-1 при нагрузке 76,5 кН, что составляет 10,2 % от разрушающей, для образца КК-3 – при нагрузке 67 кН, что составляет 8,2 % от разрушающей. Появление трещин в несущей стене для образца КК-1 произошло при нагрузке 420 кН, что составляет 55,8 % от величины разрушающей нагрузки, для образца КК-3 – при нагрузке 324 кН, что соответствует 39,9 % от разрушающей.

3. Установлено для внецентренно сжатых образцов: отслоение лицевого слоя с керамзитобетоном от несущей стены произошло для образца КК-2 при нагрузке 93 кН, что составляет 20,6 % от разрушающей, для образца КК-4 – при нагрузке 103 кН, что составляет 17,6 % от разрушающей. Появление трещин в несущей стене для образца КК-2 произошло при нагрузке 236 кН, что составляет 52,3 % от величины разрушающей нагрузки, для образца КК-4 – при нагрузке 274 кН, что соответствует 46,8 % от разрушающей.

4. Определены значения модулей деформаций для образцов при центральном и внецентренном сжатии. Для центрально-сжатых элементов модуль деформаций кладки основной стены:

- стадия работы № 2, после отслоения облицовочного слоя с керамзитобетоном $E = 3110$ МПа (КК-1), 2923 МПа (КК-3);
- стадия работы № 3, при образовании трещин в кладке основной стены $E = 1641$ МПа (КК-1), 840,9 МПа (КК-3);
- стадия работы при активном образовании трещин в кладке основной стены, $E = 970$ МПа (КК-1), 820 МПа (КК-3).

Для внецентренно сжатых элементов модуль деформации кладки основной стены:

- стадия работы № 2, после отслоения облицовочного слоя с керамзитобетоном $E = 2438$ МПа (КК-2), 2628 МПа (КК-4);
- стадия работы № 3, при образовании трещин в кладке основной стены $E = 1425$ МПа (КК-2), 1400 МПа (КК-4);
- стадия работы при активном образовании трещин в кладке основной стены, $E = 815$ МПа (КК-2), 1100 МПа (КК-4).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ищук, М.К. Отечественный опыт возведения зданий с наружными стенами из облегченной кладки / М.К. Ищук. – М. : РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ», 2009. – 365 с.

2. *Ищук, М.К.* Проблемы норм по проектированию каменных конструкций / М.К. Ищук // Строительные материалы. – 2010. – № 4. – С. 15–19.
3. *Бедов, А.И.* Проектирование, восстановление и усиление каменных и армокаменных конструкций / А.И. Бедов, А.И. Габитов. – М. : Изд-во АСВ, 2008. – 568 с.
4. *Distribution of Local Deformations on the Near-Surface Layers and Scale Effects of Low-Alloy Steel Specimen* / A. Ustinov, D. Kopanitsa, A. Potekaev, A. Klopotov // *Advanced materials with hierarchical structure for new technologies and reliable structures : AIP Conference Proceedings*. – 2015. – № 1683, 020233. – P. 1–6.

REFERENCES

1. *Ishchuk M.K.* Otechestvennyi opyt vozvedeniya zdaniy s naruzhnymi stenami iz oblegchennoi kladki [Russian experience in building construction with lightweight brickwork exterior walls]. Moscow : STROIMATERIALY Publ., 2009. 365 p.(rus)
2. *Ishchuk M.K.* Problemy norm po proektirovaniyu kamennykh konstruktssii [Standards for masonry design structures]. 2010. No.4. Pp. 15–19. (rus)
3. *Bedov A.I.* Proektirovanie, vosstanovlenie i usilenie kamennykh i armokamennykh konstruktssii [Design, restoration and strengthening of stone and reinforced masonry structures]. Moscow : ASV Publ., 2008. 568 p. (rus)
4. *Ustinov A., Kopanitsa D., Potekaev A., Klopotov A.* Distribution of local deformations on the near-surface layers and scale effects of low-alloy steel specimen. *AIP Conference Proceedings 'Advanced Materials with Hierarchical Structure for New Technologies and Reliable Structures'*. 2015. No. 1683, 020233. Pp. 1–6.