

УДК 624.426.5

**УЧЕТ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ НЕСОВЕРШЕНСТВ  
В КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНОМ ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ABAQUS  
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВЕРИФИКАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТОНКОСТЕННЫХ БАЛОК  
НА ДЕЙСТВИЕ ЛОКАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ**

**В.В. Надольский, Ф.А. Верёвка**

Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь  
e-mail: nadolskivv@mail.ru, verevka.fedor@mail.ru

*Представлен один из способов учета эквивалентных геометрических несовершенств при проведении верификационных исследований напряженно-деформированного состояния пластинчатых элементов согласно ТКП EN 1993-1-5 [1] при действии локальной нагрузки на примере тонкостенной двутавровой балки. Приведены экспериментальные данные, описана процедура проведения испытаний и представлена схема разработки конечноэлементной модели исследуемой балки с учетом физической и геометрической нелинейности.*

**Ключевые слова:** несовершенства, конечноэлементная модель, локальная нагрузка, тонкостенные элементы, верификационные исследования, ABAQUS

**ACCOUNTING OF EQUIVALENT GEOMETRIC IMPERFECTIONS  
IN THE ABAQUS SOFTWARE IN VERIFICATION STUDIES OF THIN-WALLED BEAMS  
ON THE ACTION OF TRANSVERSE FORCES (LOCAL LOAD)**

**V. Nadolski, F. Viarouka**

Belarusian National Technical University, Republic of Belarus  
e-mail: nadolskivv@mail.ru, verevka.fedor@mail.ru

*The article presents one of the methods for accounting equivalent geometric imperfections during verification studies of the stress-strain state of plate elements according to provisions of EN 1993-1-5 [1] under the action of a transverse force (local load) on a thin-walled I-beam. Experimental data are presented, the test procedure is described, and a scheme of development of the finite element model of a thin-walled I-beam accounting material and geometric nonlinearity is presented.*

**Keywords:** imperfections, finite element model, transverse force (local load), thin-walled elements, verification studies, ABAQUS

**Введение.** В современном проектировании зданий и сооружений широкое применение находят стальные тонкостенные конструкции в виде балок. Часто эти балки работают в условиях локального (местного) нагружения. В этом случае возникает вопрос об обеспечении местной устойчивости при расчете и проектировании подобных конструкций.

Анализ зарубежных работ показывает, что в большинстве стран мира основной акцент сделан на развитие механических моделей сопротивления локальным нагрузкам [1-4]. Модели сопротивления локальным нагрузкам, принятые в различных нормативных документах, существенно отличаются, что говорит и о различиях при оценке несущей способности таких конструкций [1, 2, 5]. Ввиду этого, методики, принятые в нормативных документах, требуют дальнейшего исследования и уточнения.

При сопротивлении элементов местной потере устойчивости при действии локальной нагрузки теоретически и экспериментально подтверждена возможность использования резерва несущей способности за счет закритической стадии работы отсека [3, 4, 6-8]. Однако так как количество экспериментальных данных очень ограничено, а аналитическое решение данной задачи является достаточно трудоемким, моделирование стального элемента при помощи программных комплексов позволит оценить значения сопротивлений локальным нагрузкам в закритической стадии работы отсека.

Использование метода конечных элементов при решении научных и инженерных задач является достаточно распространенным явлением, однако применение того или иного конечноэлементного программного комплекса требует соответствующего обоснования, которое может быть получено лишь при проведении соответствующих верификационных исследований. Суть подобных верификационных исследований заключается в объективном сопоставлении данных натурных экспериментов с результатами моделирования при выполнении четко определенных операций по построению модели.

При расчете конструкций с применением МКЭ важным пунктом является учет несовершенств, которые могут значительно влиять на несущую способность конструкции. Существует три основных способа задания несовершенств при расчете с помощью МКЭ:

- задание реальных несовершенств, полученных с помощью обмеров конкретной конструкции. Этот способ используется при исследованиях, связанных с поиском лучшего способа задания несовершенств;

- задание наихудшей возможной формы распределения несовершенств. Как правило, при таком способе задания несовершенств используется первая форма потери устойчивости или комбинация различных форм потери устойчивости. Однако, в некоторых случаях реальные дефекты или возможные формы конструкции могут оказывать большее влияние, чем несовершенства, принятые по первой форме потери устойчивости;

- использование эквивалентных геометрических несовершенств, что является самым простым с точки зрения реализации при использовании метода конечных элементов. На практике амплитуды, с которыми задается несовершенство, должны быть откалиброваны в зависимости от вида отказа.

Согласно приложению С5 [1] при расчетах с помощью МКЭ должны быть учтены как геометрические, так и структурные несовершенства.

Обычно упрощенно считается, что стальные балки состоят из прямолинейных пластин, но фактически они имеют геометрические несовершенства и остаточные напряжения.

В настоящее время геометрические несовершенства могут быть измерены с помощью оптических приборов. Что касается остаточных напряжений, они носят

изменчивый характер и их измерение, по крайней мере, достаточно достоверное, можно получить только при разрушающих испытаниях.

При невозможности учета в расчетах точного учета геометрические и структурные несовершенства, допускается использовать эквивалентные геометрические несовершенства. Направление несовершенства следует применять с целью достижения минимального сопротивления [1].

В настоящей статье представлен один из способов учета эквивалентных геометрических несовершенств при проведении исследования напряженно-деформированного состояния пластинчатых элементов согласно ТКП EN 1993-1-5 [1] при действии локальной нагрузки.

**Геометрические несовершенства.** В соответствии с приложением С [1] геометрические несовершенства допускается применять в форме, соответствующей потере устойчивости пластины в критической стадии с значением выгиба – 80% от геометрических допусков при изготовлении.

При этом допуск на отклонение от плоскостности (от вертикальной плоскости) согласно СТБ EN 1090-2 [9] ограничиваются минимальным значением из следующих значений:

- $t_w$  – толщина стенки
- $h_w/100$ , где  $h_w$  – высота стенки в свету

Характер потери устойчивости и критические силы потери устойчивости получают при анализе на устойчивость. Линейный анализ устойчивости направлен на вычислении силы, при которой стержень переходит из одного положения равновесия в другое.

**Структурные несовершенства.** Согласно примечанию 2 приложению С5 (1) [1]: «структурные несовершенства, вызванные остаточными напряжениями, допускается представлять в виде напряжений с значения, равными средним (предполагаемым) значениям».

Однако в ТКП EN нет никаких конкретных указаний по учету структурных несовершенств. В основном структурные несовершенства связаны с остаточными напряжениями, появляющимися в процессе производства. Согласно ECCS [10] двумя основными причинами появления остаточных напряжений являются газовая резка листов и продольная сварка стенки и полок.

Остаточные растягивающие напряжения являются равными пределу текучести пластины и появляются в пределах ширины зоны, подверженной разогреву, при этом в окружающем ее металле появляются самоуравновешивающие напряжения сжатия. В целом, амплитуда и распределение остаточных напряжений зависит от способа изготовления, формы поперечного сечения и толщины стенки.

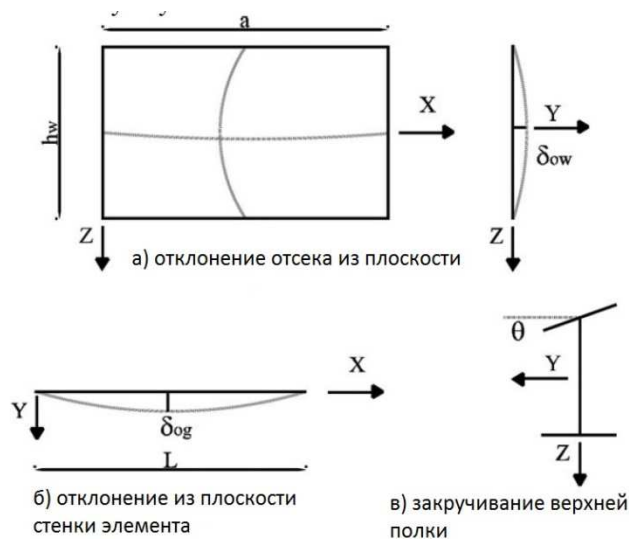
Главным образом остаточные напряжения влияют на сопротивления в случае потери устойчивости, а также при усталостном или хрупком разрушении.

При этом нет необходимости представлять реальную эпюру остаточных напряжений при моделировании. Хорошая сходимость наблюдается при использовании упрощенных эпюр распределения остаточных напряжений.

**Эквивалентные геометрические несовершенства.** Согласно [1] в случае невозможности учесть в расчетах более точно геометрические и структурные несовершенства, допускается использовать эквивалентные геометрические несовершенства. Несовершенства могут иметь как локальный, так и глобальный характер. Несовершенства можно комбинировать. При этом выбирается основное определяющее несовершенство и сопровождающие несовершенства, которые могут иметь значения, уменьшенные до 70%. Однако в нормативной документации не дано никаких конкретных рекомендаций по выбору типов несовершенств.

Для балок основными эквивалентными геометрическими несовершенствами являются:

- отклонение стенки отсека из плоскости  $\delta_{ow}$ , принятое по размерам отсека (обусловленное несовершенствами отдельного отсека) (рисунок 1, а). Несовершенство носит локальный характер в пределах отсека. В соответствии с приложением С [1] максимальное отклонение отсека из плоскости – наименьшее из значений  $\min(a/200, h_w/200)$ ;
- отклонение стенки элемента из плоскости  $\delta_{og}$  (обусловленное несовершенствами элемента в целом в продольном направлении) (рисунок 1 б). Расчетное значение принимается согласно [11] и зависит от кривой потери устойчивости, которая в свою очередь зависит от вида, размеров сечения и оси, относительно которой предполагается потеря устойчивости;
- начальное закручивание верхней полки или элемента жесткости (рисунок 1, в). Значение угла закручивания согласно [1] принимается равной  $1/50$  рад.



**Рисунок 1.** – Эквивалентные геометрические несовершенства сварной балки

**База экспериментальных данных.** Для оценки погрешности моделей сопротивления стальных балок локальному воздействию использовались экспериментальные данные, выполненные в Политехническом университете Каталонии (School of Civil Engineering, Polytechnic University of Catalonia) в Барселоне, Испания [6].

Ниже описаны основные особенности испытываемых образцов и процедура проведения испытания. Для краткости из всей экспериментальной программы представлены только необходимые результаты.

**Геометрия.** Эксперимент проводился на двух сериях образцов по 4 балки в каждой. Основным различием между двумя сериями являлся предел текучести стальных прокатных листов, из которых состоит балка. В каждой из серий варьировался только один параметр – расстояние между ребрами жесткости. Нагружение балки производилось в центре средней панели. Длина этой панели обозначена как расстояние между поперечными ребрами жесткости, длина смежных панелей. Длина балки – 2700 мм, расстояние между опорами – 2500 мм. Сечение балки – сварной двутавр. Сечение поясов – 200x20 мм, сечение стенки – 500x4 мм, ребра жесткости имеют толщину 20 мм. Общий вид балок представлен на рисунке 2. Геометрические параметры испытываемых балок представлены в таблице 1.

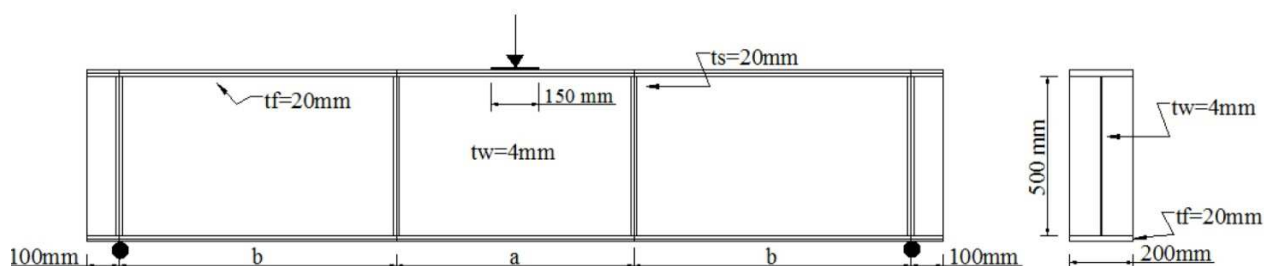


Рисунок 2. – Схема испытанных балок

Таблица 1. – Основные геометрические параметры испытываемых балок

Серия	Балка	Длина, мм	a, мм	b, мм	h <sub>w</sub> , мм
1/2VPL	1VPL2500	2700	2500	0	500
	1VPL1500	2700	1500	500	500
	1VPL750	2700	750	585	500
	1VPL450	2700	450	1025	500

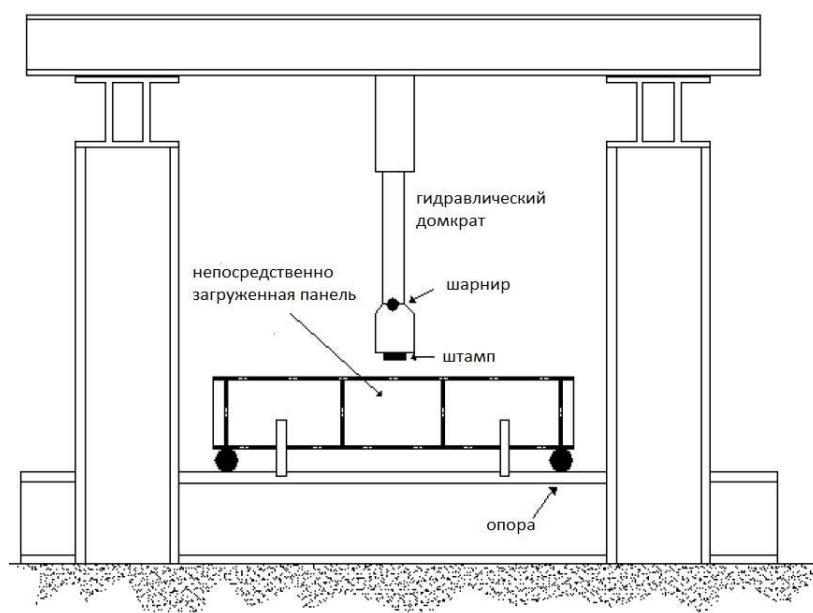
**Материалы.** Для определения зависимости между напряжениями и деформациями были проведены испытания образцов на растяжение. Образцы были вырезаны из наименее нагруженной части балок после испытания. Для изготовления балок было использовано 6 разных типов стальных листов, по три в каждой серии. В таблице 2 показаны механические свойства, полученные для каждого из листов, использующихся в стальных балках 1-й серии (1VPL)

Таблица 2. – Механические свойства стали для каждого элемента балок

Серия	Пластина	Ширина, мм	Толщина, мм	Предел текучести f <sub>y</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	Предел прочности f <sub>u</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	f <sub>u</sub> / f <sub>y</sub>
1VPL	Стенка	14.78	4.10	325	443	1.36
	Полка	30.32	20.65	454	595	1.31
	Ребро жесткости	30.05	19.90	310	464	1.50

**Процедура проведения испытаний.** Балки испытывались как шарнирно опертые под статической нагрузкой, постепенно возрастающей до потери несущей способности.

Испытания балок проводились на 100-тонном гидравлическом прессе. Нагрузка на балки передавалась через жесткий штамп размером 150x200, шарнирно закрепленный на гидравлическом прессе. Для центровки образцов с целью предотвращения появления эксцентриситета использовалось лазерное наведение. Установка для испытания состояла из рамы, жестко соединенной с силовым полом. Для крепления образцов использовалась дополнительная двутавровая балка.



**Рисунок 2. – Установка для проведения испытаний**

**Начальные несовершенства.** До испытаний начальная форма стенки и полки четырех балок была получена с помощью прибора для измерения координат в 3D. 3D-формат данных является, по сути, множеством координат  $\{x_i, y_i, z_i\}$ , полученных для точек, находящихся на поверхности балки. Эти данные позволяют воспроизвести реальную форму стенки и полки. 3D-данные были получены для точек, являющихся узлами сетки с ячейкой 100x100 мм, которая предварительно была нанесена на балку. После получения результатов, были отмечены 2 особенности. Во-первых, в балках с расстоянием между ребрами жесткости  $a/h_w > 2$  наблюдался С-образный начальный выгиб стенки, с максимальным значением отклонением из плоскости 4 мм, что сопоставимо с толщиной стенки. В балках с расстоянием между ребрами жесткости  $a/h_w < 2$  наблюдался S-образный начальный выгиб стенки из плоскости, с максимальным значением отклонением из плоскости 2.5 мм. Во-вторых, начальные несовершенства полки были достаточно незначительными. Так же было отмечено значительное закручивание пластин относительно продольной оси стенки.

**Разработка модели в программном комплексе Abaqus CAE.** Каждая балка моделировалась с помощью следующих элементов: пластин верхнего и нижнего пояса, пластины стенки, пластин ребер жесткости и абсолютно жесткого пластинчатого элемента,

моделирующего штамп, через который прикладывалась нагрузка. Абсолютно жесткая пластина была соединена с верхней полкой балки при помощи узловых связей.

Все числовые значения в программном комплексе Abaqus CAE необходимо задавать в согласованных единицах измерения. Принятые единицы измерения представлены в таблице 3.

Таблица 3. – Принятая система единиц измерения при расчетах в ABAQUS

Длина	Сила	Масса	Время	Напряжения	Плотность	Ускорение свободного падения
мм	Н	т	с	Н/мм <sup>2</sup>	т/мм <sup>3</sup>	мм/с <sup>2</sup>

Материалы заданы как упругопластические со стадией самоупрочнения.

Одна из опор балки была закреплена от перемещений относительно всех трех осей, второй было разрешено перемещение относительно продольной оси. Чтобы избежать закручивания верхней полки при приложении нагрузки боковые грани абсолютно жесткой пластины (штамп для приложения нагрузки) были закреплены от поворота относительно продольной оси (закрепления отмечены цифрой 3 на рисунке 3), также при учете эквивалентных геометрических несовершенств в виде «изолированных» опор был закреплен центральный отсек от перемещения из плоскости стенки балки (закрепления отмечены цифрой 4 на рисунке 3).

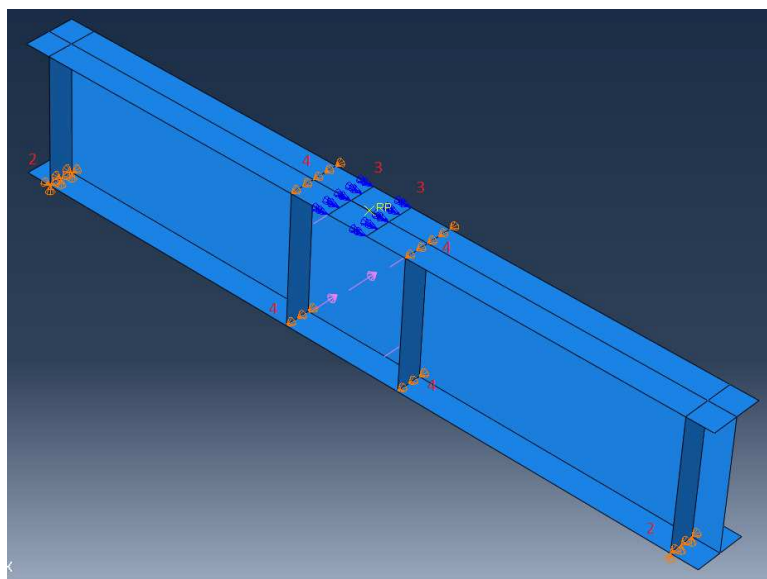


Рисунок 3. – Общая схема закрепления балок

**Задание сетки конечных элементов в программном комплексе Abaqus CAE.** Для моделирования балок был выбран элемент S4R (A 4-node doubly curved thin or thick shell, reduced integration, hourglass control, finite membrane strains – четырехузловой элемент тонкой или толстой пластины с криволинейным контуром, использованием редуцированной схемы интегрирования, конечными мембранными деформациями

и контролем за деформациями формы с нулевой энергией [12]. Для моделирования штампа, через который прикладывалась нагрузка был выбран элемент R3D4 (A 4-node 3-D bilinear rigid quadrilateral – четырехузловой билинейный прямоугольный конечный элемент, который используется для моделирования абсолютно жесткого тела в 3-D [12].

Сетка была сгенерирована и структурирована автоматически: размеры сетки стенки, полка и ребер жесткости балки 20мм, что соответствует 5 толщинам стенки балки. Размер сетки абсолютно жесткой пластины, через которую передается нагрузка – 10 мм.

**Этапы нагружения исследуемых балок в ABAQUS.** Нагружение проводилось в 3 этапа. На первом шаге была приложена нагрузка от собственного веса балки, которая учитывается путем задания значения ускорения свободного падения, равного 9810 мм/с<sup>2</sup>. На втором шаге были заданы эквивалентные геометрические несовершенства. На третьем шаге к абсолютно жесткой пластине, передающей нагрузку, была приложена узловая сила, моделирующая локальную нагрузку.

В качестве итерационного метода расчета был выбран метод Ньютона-Рафсона. В обоих шагах учет геометрической нелинейности, такой как большие перемещения и деформации производился включением команды NGEOM , что позволило учитывать изменяющуюся матрицу жесткости системы на каждой равновесной итерации. Расчет проводился с начальным приращением – 0,1 от нагрузки, минимальным приращением –  $1 \cdot 10^{-5}$  и максимальным приращением, равным действующему усилию.

**Учет эквивалентных геометрических несовершенств.** В качестве основного и единственного несовершенства было задано отклонение стенки отсека, к которому прикладывалась нагрузка, из плоскости. Несовершенство носит локальный характер в пределах отсека. В соответствии с приложением С [1] максимальное отклонение отсека из плоскости – наименьшее из значений  $\min(a/200, h_w/200)$ .

Учитывая указания примечания 2 приложения С5 (5) [1], задание отклонения стенки отсека из плоскости производилось путем приложения некоторого давления к стенке отсека до тех пор, пока перемещения в нем не достигали эквивалентных геометрических несовершенств. При этом на данном шаге загружаемый отсек дополнительно был закреплен от перемещений из плоскости балки. В таблице 4 приведено значение геометрических несовершенств и эквивалентная сила для балки 1VPL 450.

Таблица 4 – Эквивалентные геометрические несовершенства для балки 1VPL 450

Балка	Эквивалентные геометрические несовершенства, мм	Эквивалентная сила, Н/мм <sup>2</sup>
Серии 1/2 VPL		
1VPL 450	2.25	0.055

Стоит отметить, что получение корректного значения эквивалентной силы было достигнуто путем отслеживания перемещения центральной точки отсека в ходе нагружения эквивалентной силой на стадии нагружения «Imperfections», учитывающего несовершенства. Таким образом, для получения эквивалентной силы было необходимо построить график перемещения центральной точки отсека от действующей силы, пример такого графика приведен на рисунке 5.



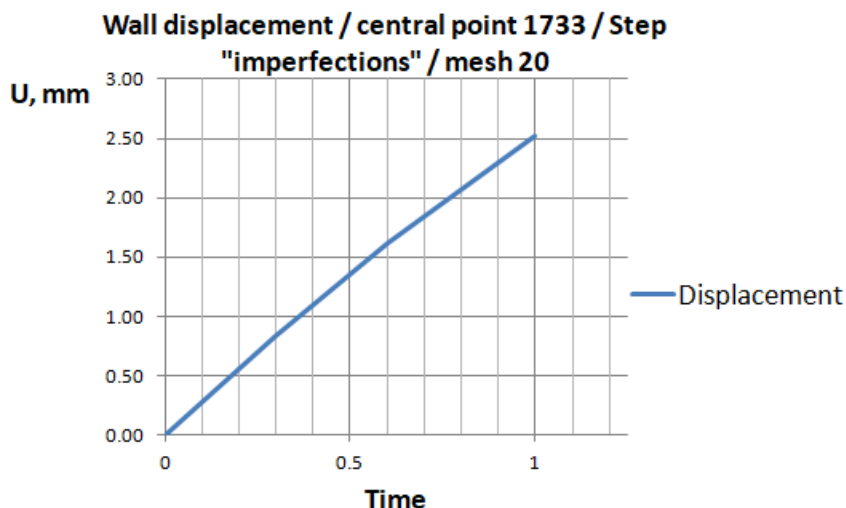


Рисунок 5. – График перемещения центральной точки отсека от эквивалентной силы за время ее приложения

**Заключение.** В настоящее время все более актуальным становится смещение «центра тяжести» исследований различных моделей сопротивления строительных конструкций с использованием МКЭ с попытками к частичному или полному замещению дорогостоящих натуральных испытаний, однако практическая реализация метода конечных элементов обладает определенным субъективизмом. Он может проявляться при моделировании геометрических параметров и граничных условий конструкции, задании нагрузки, моделировании материалов, выборе типа и размера конечных элементов. Это осложняется тем, что в нормах практики нет четких и подробных рекомендаций по расчетам на основе метода конечных элементов и оценке результатов расчета.

Некоторые рекомендации по расчетам при помощи метода конечных элементов стальных пластинчатых конструкций приведены в [1]. Согласно [1] при использовании метода конечных элементов для расчета конструкций следует обращать внимание на следующее: моделирование элемента конструкции и его граничных условий, выбор соответствующего программного обеспечения и необходимой документации, учет несовершенств, моделирование нагрузок, моделирование критериев предельного состояния и применяемые частные коэффициенты. Однако ни по одному из пунктов нет конкретных и четких рекомендаций к использованию. Нет рекомендаций по оценке точности и достоверности результатов полученных при расчете конструкций с помощью метода конечных элементов, отсутствует система частных коэффициентов.

В связи с этим представляется целесообразной разработка принципов и требований, которыми необходимо руководствоваться при компьютерном моделировании и оценке достоверности и точности решения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-5. Пластинчатые элементы конструкций: ТКП EN 1993-1-5-2009\* Еврокод 3. – М: МАиС, 2014. – 51 с.

2. ANSI/AISC-360-05. Specification for Structural Steel Buildings– Chicago, Illinois: American Institute of Steel Construction, 2005. – 256 p.
3. Roberts, T. M. A mechanism solution for predicting the collapse loads of slender plate girders when subjected to in-plane patch loading / T. M. Roberts, K. C. Rockey // Proc. Instn Civ.Engrs. – 1979. – Part 2(67) – P. 155–175.
4. Lagerqvist, O. Patch loading - Resistance of steel girders subjected to concentrated forces / O. Lagerqvist // Doctoral thesis 1994:159D, Lulee University of Technology. – 1994. – ISRN: HLU-TH-T-159-D—SE.
5. СНиП II-23-81\* Стальные конструкции. – М.: ОАО «ЦПП», 2008. – 90 с.
6. Flores, R. Resistance of Transversally Stiffened Hybrid Steel Plate Girders to Concentrated Loads: Diss. ... Doctoral thesis/R. Flores. – Polytechnic University of Catalonia, Barcelona, 2009. – 221 p.
7. Ширманов, В.С. Экспериментальное исследование работы стенок двутавровых балок на местную устойчивость// Исследования в области строительства. / В.С. Ширманов Тр. ГИСИ им. Чкалова. - Горький, 1971. – Вып. 58. –С. 68–73.
8. Лапшин, А.А. Прочность стальных неразрезных балок при локальных нагрузках и учете влияния конструктивных факторов: дис. ... канд. технич. наук :05.23.01/ А.А. Лапшин – Н. Новгород, 2001. – 378 с.
9. Возведение стальных и алюминиевых конструкций. Часть 2. Технические требования к стальным конструкциям: СТБ EN 1090-2-2013. – М: Госстандарт, 2014. – 193 с.
- 10.ECCS. European recommendations for the design of longitudinally stiffened webs and of stiffened compression flanges. Technical committee 8 – technical working group 8-3 – First edition, N.60, 1990 – 23 p.
- 11.Проектирование стальных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий: ТКП EN 1993-1-1-2009\* Еврокод 3. – М: МАиС, 2014. – 88 с.
- 12.ABAQUS, 6.12 Version. Manuals, 2012 Abaqus Inc, USA

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:  
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ  
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Новополоцк  
Полоцкий государственный университет  
2020

1 – дополнительный экран – сведения об издании

УДК 72:624/628+69(082)

Редакционная коллегия:

Л. М. Парфенова (председатель),  
А. С. Катульская (отв. секретарь), Е. Д. Лазовский,  
Н. В. Давыденко, Р. М. Платонова

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**  
[Электронный ресурс] : электронный сборник статей II международной научной конференции, Новополоцк, 28–29 нояб. 2019 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. Л. М. Парфеновой. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-985-531-701-3.

Рассмотрены вопросы архитектуры и градостроительства в современных условиях, прогрессивные методы проведения инженерных изысканий и расчета строительных конструкций. Приведены результаты исследований ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов и технологий, энергоресурсосберегающие и природоохранные инновационные решения в инженерных системах зданий и сооружений. Проанализированы организационные аспекты строительства и управления недвижимостью, проблемы высшего архитектурного и строительного образования.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей учреждений образования.

*Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса.  
Регистрационное свидетельство № 3671815379 от 26.04.2018.*

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь  
тел. 8 (0214) 53 53 92, e-mail: a.bakatovich@psu.by; l.parfenova@psu.by

**№ госрегистрации 3671815379.**

**ISBN 978-985-531-701-3**

@Полоцкий государственный университет, 2020

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Архитектурно-строительный комплекс: Проблемы, перспективы, инновации» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:  
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ  
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Технический редактор *Т. А. Дарьянова*.  
Компьютерная верстка *Т. А. Дарьяновой*.  
Компьютерный дизайн обложки *Е. А. Балабуевой*.

---

Подписано к использованию 09.09.2020.  
Объем издания: 21,05 Мб. Тираж 3 диска. Заказ 420.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,  
г. Новополоцк,  
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44  
<http://www.psu.by>