

Construction of Unique Buildings and Structures

journal homepage: www.unistroy.spb.ru

Методика построения моделей сложных оболочковых конструкций

А.В. Редькин¹, В.А. Тарасов², М.Ю. Барановский³, А.Б. Теплов⁴

¹⁻⁴Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

Информация о статье

УДК

История

Подана в редакцию 3 января 2016

Ключевые слова

Revit;
SCAD;
Autocad;
сателлит Форум;
железобетонная оболочка;

АННОТАЦИЯ

Оболочковые конструкции из железобетона являются одними из самых изящных и, в то же время, экономичных архитектурных решений, но обладают огромным недостатком, а именно, сложностью расчётов при их проектировании. Сегодня, благодаря внедрению современных компьютерных технологий в процессы проектирования строительных конструкций, увеличилась скорость расчётов и их точность. Метод конечных элементов в совокупности с современными компьютерными технологиями создаёт возможности для моделирования и расчёта конструкций любой сложности. В статье рассмотрен метод экспорта оболочковых конструкций из Revit в SCAD, с использованием на промежуточных этапах Autocad и сателлита SCAD - Форум. Метод рассмотрен на примере оболочки двоякой положительной гауссовой кривизны. Результатом применения метода является конечно-элементная модель железобетонной оболочки, которая полностью подготовлена для дальнейшего расчёта и анализа. Для проверки корректности данного метода проведено сравнение результатов расчёта модели, полученной рассмотренным способом и аналогичной, возведённой средствами SCAD. Проведена оценка целесообразности применения данного метода для дальнейшего развития использования Revit и SCAD в тандеме при проектировании конструкций оболочкового типа.

Содержание

1.	Введение	62
2.	Обзор литературы	62
3.	Постановка задачи	62
4.	Методика экспорта модели из Revit в SCAD	62
5.	Проверка корректности методики	68
6.	Возможности данного метода по экспорту более сложных форм оболочек	70
7.	Выводы	72

Контактный автор:

1. +79214309040, redish132132@yandex.ru (Редькин Андрей Валерьевич, студент)
2. +7(952)2010537, vtarasov3766@yandex.ru (Тарасов Владимир Александрович, студент)
3. +7(921)4077354, bm_y@mail.ru (Барановский Михаил Юрьевич, студент)
4. +7-921-582-61-31, abteplov@mail.ru (Теплов Андрей Борисович, студент)

1. Введение

Создание экономичных, надёжных и интересных с архитектурной точки зрения железобетонных конструкций на основе рационального проектирования с использованием достижений компьютерных технологий, современных строительных норм и правил – одна из важнейших задач, стоящих перед инженерами-строителями.

Сейчас набирает обороты использование программных комплексов, реализующих принцип информационного моделирования зданий, а именно, предоставляющих возможность одновременно трёхмерного моделирования конструкций, а также оформления и выпуска их рабочих чертежей. Один из самых востребованных комплексов подобного типа – Autodesk Revit (далее – Revit), одним из важных достоинств которого является развитая система возведения конструкций любой конфигурации, сложности и формы. В то же время в процессе проектирования здания или сооружения не обойтись без программных комплексов, позволяющих произвести прочностные расчёты конструкций методом конечных элементов. Самым распространённым подобным комплексом в России за прошедшее десятилетие стал SCAD. Его мощность и достаточно развитые средства формирования конструкций позволяют производить расчёт большинства типов строений. Однако, несмотря на это, проектирование сложных типов оболочковых конструкций остаётся трудоёмкой задачей. Revit обладает более развитой и понятной логикой моделирования сложных форм, что создаёт предпосылки для использования связки Revit и SCAD при проектировании. Разработчиками данных программ уже налажена связь между комплексами посредством утилиты для импорта в SCAD, но данный механизм использует аналитические модели, которые строятся в Revit только для прямолинейных конструкций, что делает невозможным данным способом конвертировать оболочковую конструкцию.

2. Обзор литературы

В настоящее время в связи с большой распространённостью SCAD и набирающей обороты популярностью Revit, уже существует и появляется большое количество пособий по расчёту с использованием SCAD, в которых также упоминается о возможности использования этих программ для совместной работы с помощью утилит. Кроме того, в интернет-пространстве имеется большое количество видео-уроков от самих производителей данных программных комплексов, а также от пользователей. Но возможность “переноски” сложных архитектурных моделей освещена крайне мало.

Наиболее полезные пособия по выбранной теме указаны в публикациях [1-10]. Новые достижения в сфере проектирования с использованием рассматриваемых программных комплексов представлены в источниках [11-36].

3. Постановка задачи

Цель данного исследования – предложить методику построения моделей сложных оболочковых конструкций путём экспорта из Revit в SCAD с использованием на промежуточных этапах Autodesk Autocad (далее Autocad) и сателлита Форум. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- 1) Описать методику экспорта модели из Revit в SCAD с использованием на промежуточных этапах Autocad и Форум и с её помощью построить конечно-элементную модель оболочковой конструкции;
- 2) Произвести проверку корректности предложенной методики, проведя сравнительный анализ полученной модели с моделью, сформированной полностью средствами SCAD, а также оценить затраты времени на создание обеих моделей;
- 3) Осветить дальнейшие возможности предложенного метода при экспорте различных форм оболочек.

4. Методика экспорта модели из Revit в SCAD

Применение предполагаемой методики экспорта модели было проведено на примере конструкции с оболочкой двоякой положительной гауссовой кривизны. Такие покрытия являются одним из основных типов и, кроме того, такую оболочку можно с небольшими затратами времени повторить полностью в SCAD для сравнения с результатами экспорта. На рис. 1 показаны геометрические характеристики конструкции. Все элементы конструкции выполнены из бетона В25.

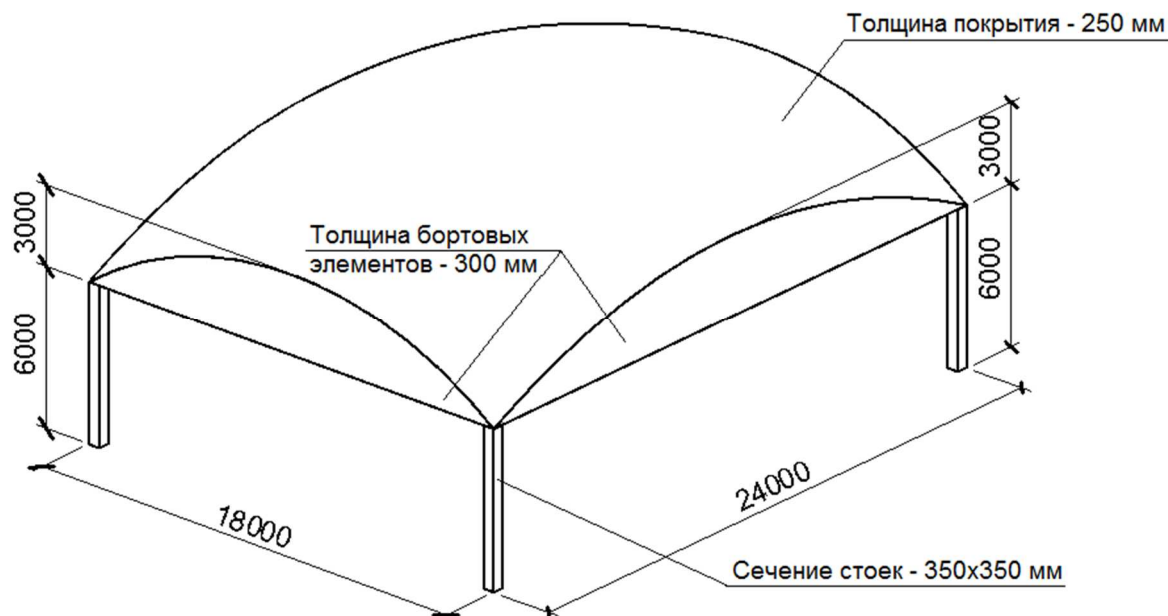


Рис. 1 Геометрические характеристики конструкции (мм)

4.1. Создание модели в Revit

На первом этапе была построена форма самой оболочки, для чего понадобилось в Revit создать формообразующий элемент. Этот инструмент позволяет создавать сложные замкнутые формы методом выдавливания. В вертикальной плоскости был создан цилиндрический профиль и выдавлен в горизонтальном направлении. В центральном сечении был добавлен ещё один профиль, для создания криволинейности в противоположном направлении (рис. 2, 3).

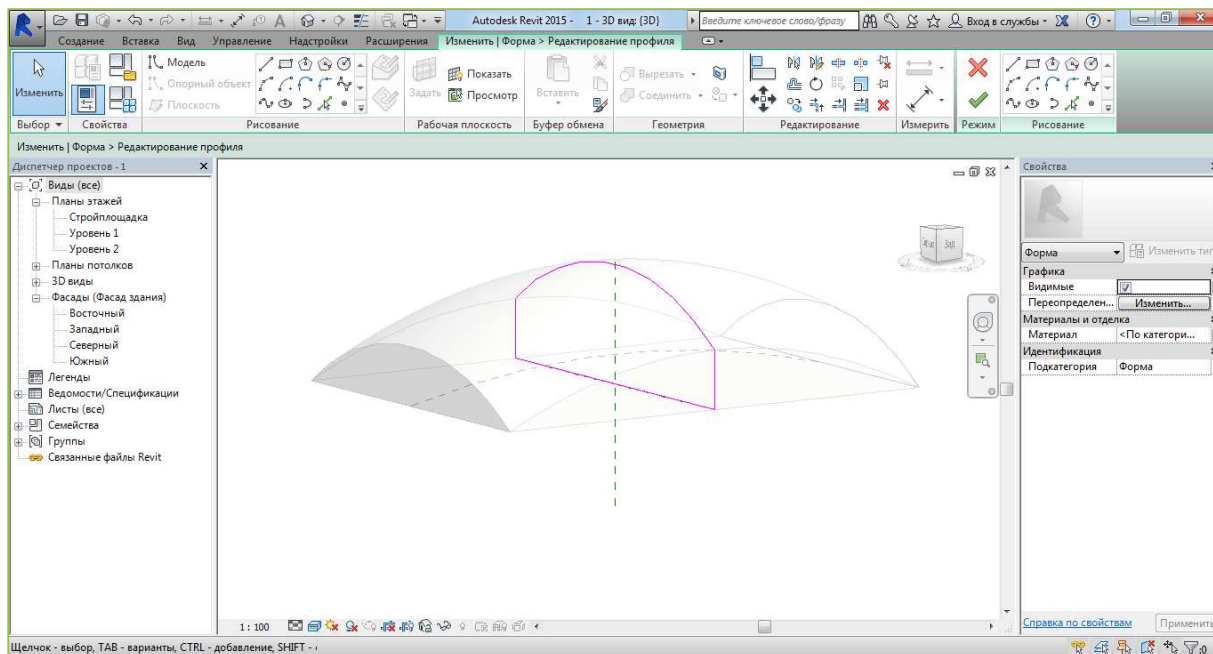


Рис. 2 Создание формообразующего элемента в Revit

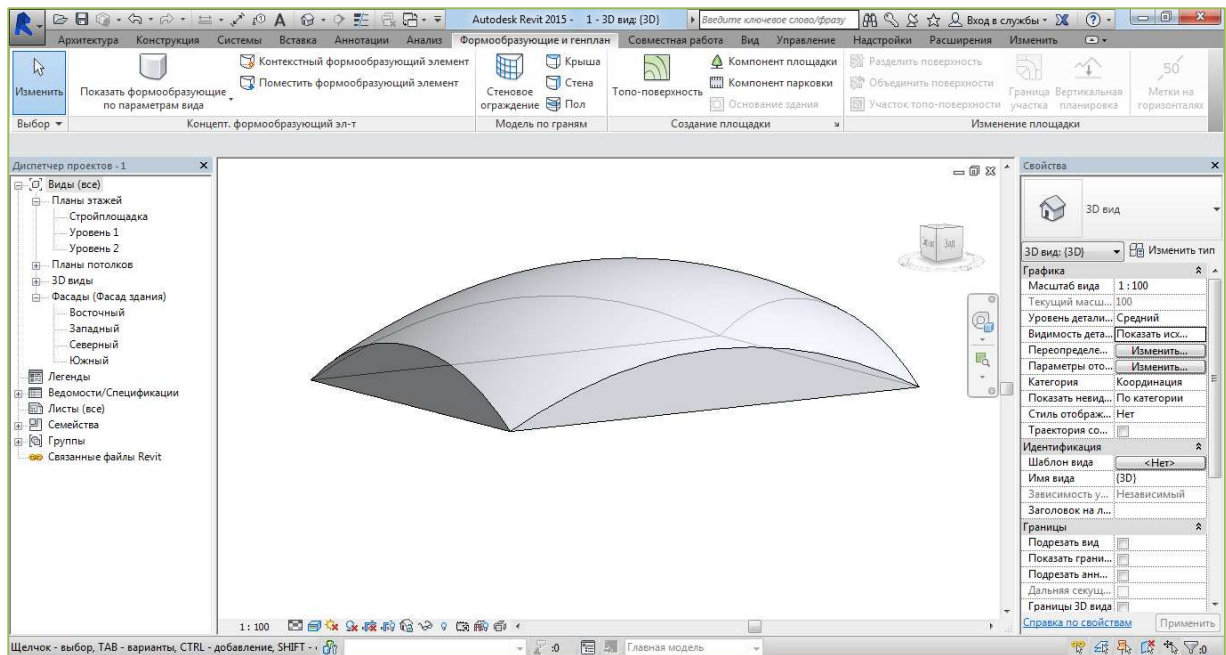


Рис. 3 Итоговый формообразующий элемент в Revit

Revit даёт возможность создавать только замкнутые формообразующие элементы, поэтому на следующих этапах моделирования потребуется удалить нижнюю часть формы, так как сама оболочка состоит только из боковых рёбер жёсткости и верхнего покрытия. Далее инструментом "Линия построения" были добавлены стержневые элементы (рис. 4).

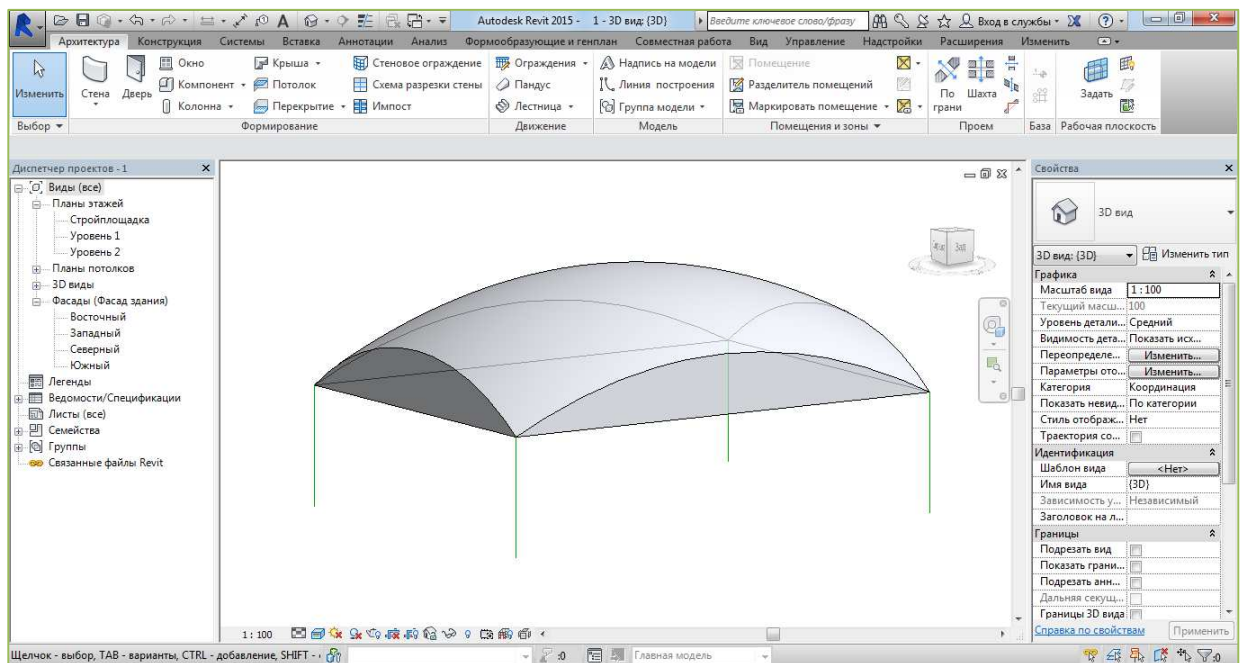


Рис. 4 Полная модель конструкции с оболочкой двоякой положительной гауссовой кривизны

4.2. Экспорт модели в Autocad

На следующем этапе был произведён экспорт модели в форматы Autocad - dwg или dxf (формат .dxf лучше воспринимается сателлитом Форум, поэтому рекомендуется использовать его при совершении экспорта). При этом перед экспортом в Revit обязательно нужно включить визуальный стиль "реалистичный", иначе в Autocad модель оболочки будет отображаться невидимой. В параметрах экспорта в Revit необходимо во вкладке "Тела" выбрать вариант "Экспортировать тела как полигональную сеть".

Таким образом, в Autocad поверхности будут аппроксимированы множеством плоских элементов: треугольниками и четырёхугольниками. Вид преобразованной модели представлен на рис. 5, 6.

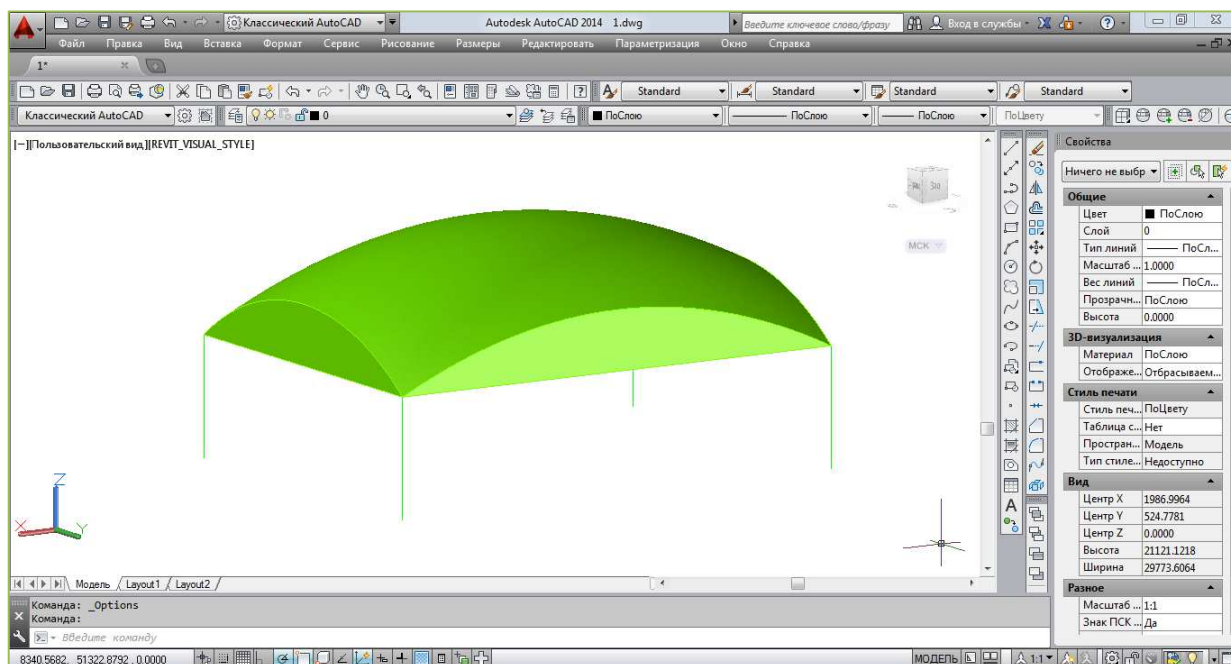


Рис. 5 Результат экспорта модели в ПК Autocad

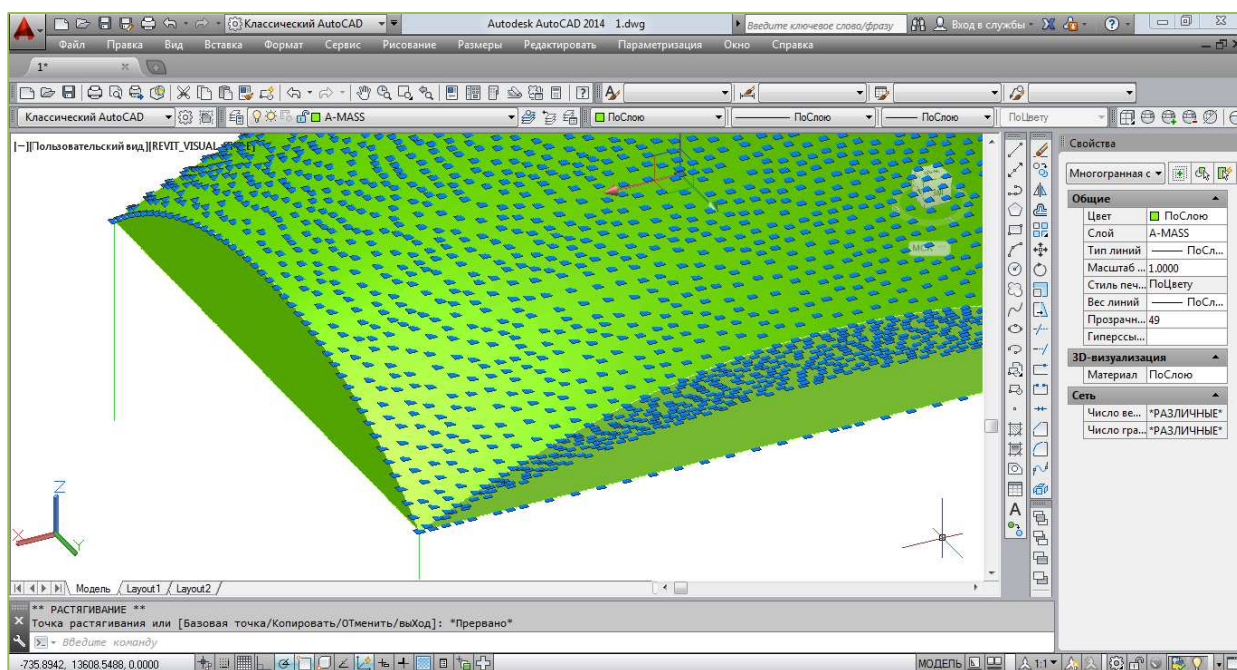


Рис. 6 Узлы плоских элементов преобразованных поверхностей

Кроме всего, на этом этапе была удалена нижняя прямоугольная плоская часть формы (рис. 7).

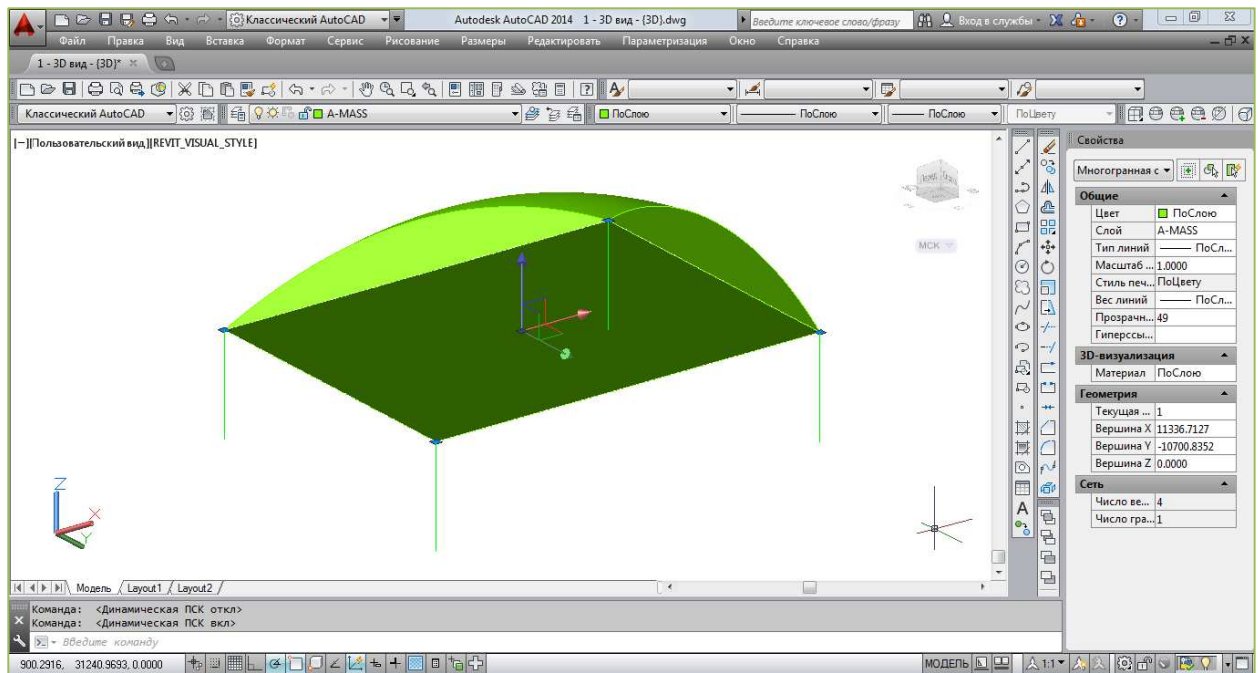


Рис. 7 Форма с выделенной для удаления нижней частью

4.3. Импорт модели из Autocad в сателлит Форум

На этом этапе модель была импортирована в сателлит Форум. Результат представлен на рис. 8. Здесь более наглядно показан результат преобразования поверхностей. Боковые плоские грани тоже были разделены на элементы, причём хаотично: длинная грань разделена более мелко в верхней части, и крупнее в нижней, а короткая разбита всего на несколько элементов. Верхнее покрытие разделено равномерно по всей площади. Неравномерную аппроксимацию на боковых гранях можно исправить ручными методами, то есть заново их нарисовать, но для получения более объективных результатов сравнения грани не были исправлены.

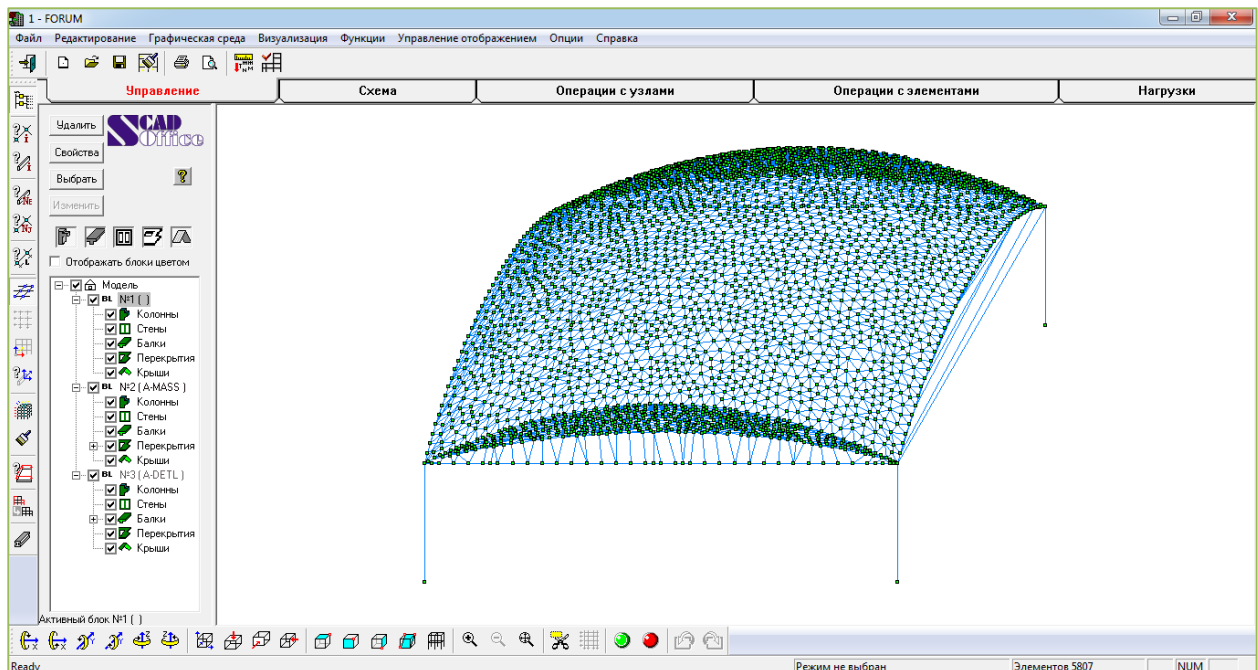


Рис. 8 Результат импорта модели из Autocad в Форум

4.4. Создание результирующего проекта в SCAD

Далее из сателлита Форум был сгенерирован результирующий проект в SCAD. При этом перед генерацией было выведено 2 предупреждения: “Не все элементы модели являются плоскими”, а далее “В процессе генерации все неплоские элементы будут приведены к плоскости, определяемой тремя первыми узлами элемента”. В настройках панели генерации шаг разбиения всех элементов конструкции был выбран 0,5 м, а минимальная площадь обрабатываемого объекта – 0,1 м². Результат генерации предоставлен на рис. 9.

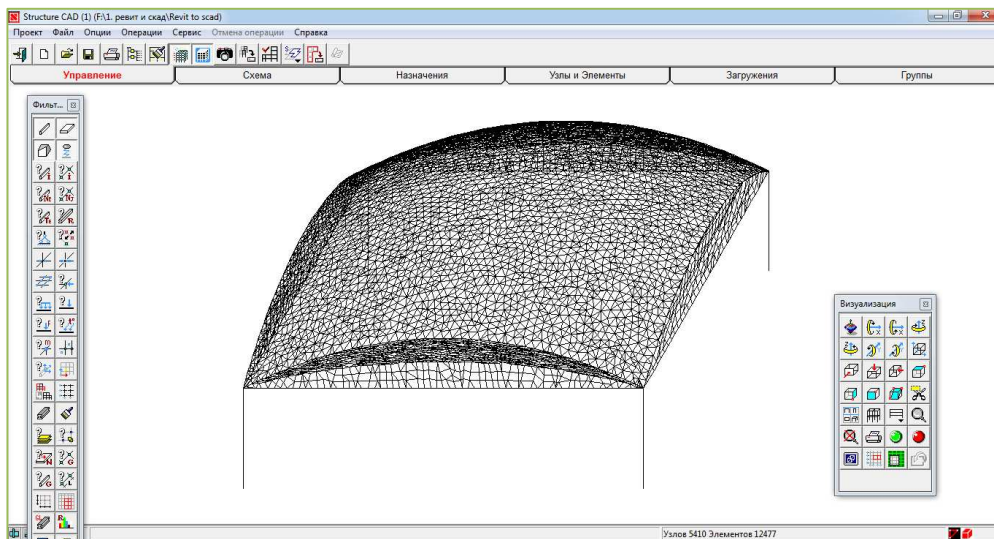


Рис. 9 Итог генерации результирующего проекта в SCAD

Далее, после задания условий закрепления, характеристик стержневых и пластинчатых элементов и собственного веса, был произведён линейный расчёт конструкции. Временные затраты на экспорт модели из Revit в SCAD составили 10 минут из них 3 минуты на генерацию результирующего проекта из сателлита Форум в SCAD. Процессы экспорта модели из Revit в Autocad и далее в сателлит Форум происходили в течение 2-3 секунд.

При включении презентационной графики очевидны и другие неполноценности модели, кроме неравномерного разбиения на конечные элементы, в местах соединения верхнего покрытия и боковых граней образовались щели (рис. 10), которые можно убрать только в ручном режиме. Очевидно, что это результат некачественного преобразования поверхностей при экспорте из Revit в Autocad, а именно, часть верхней поверхности была заменена четырёхугольными элементами, которые, как выяснилось в процессе генерации результирующего проекта, были неплоскими. В процессе генерации они были приведены к плоскости по первым трём узлам, что вызвало расхождение крайних узлов верхнего покрытия и боковых граней.

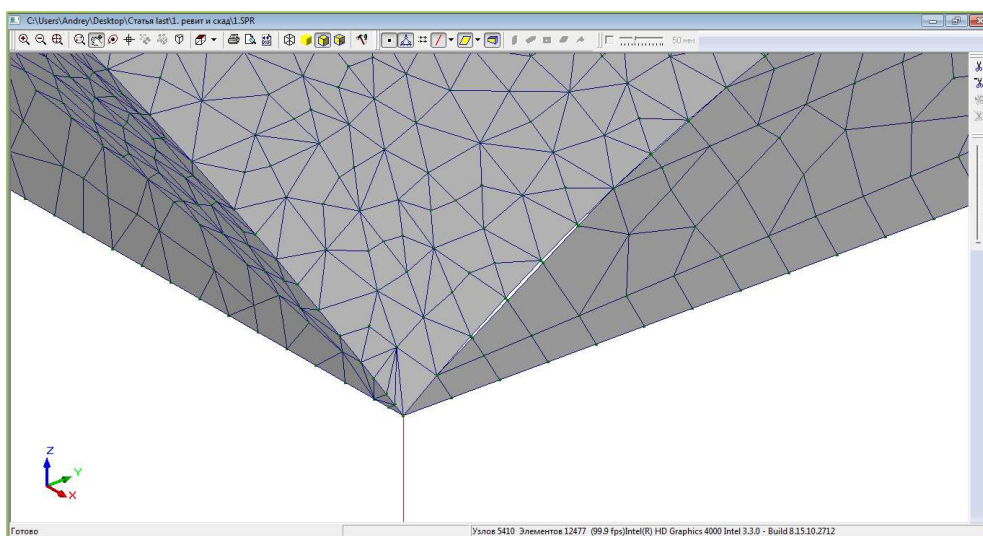


Рис. 10 Щель, образовавшаяся в месте сопряжения покрытия и боковой грани

5. Проверка корректности методики

Далее для проверки корректности методики был произведён сравнительный анализ модели, полученной методом экспорта с моделью, возведённой полностью средствами SCAD.

5.1. Построение модели полностью средствами SCAD

Модель в SCAD была сформирована с теми же конструктивными параметрами, что и конструкция, полученная методом экспорта. На возведение модели было затрачено 30 минут. Генерация сетки конечных элементов произошла в течение 15 секунд. Шаг разбиения всех элементов – 0,5 м, а минимальная площадь обрабатываемого объекта – 0,1 м². Вид модели показан на рис. 11.

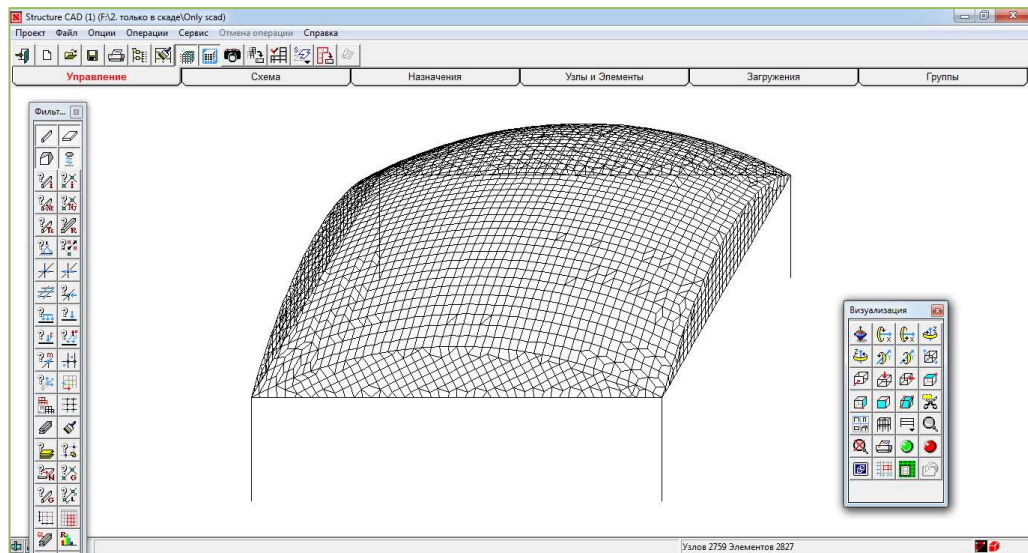


Рис. 11 Вид модели, сформированной полностью средствами SCAD

Как видно из рис. 11, разбишка на конечные элементы в модели, сформированной средствами SCAD, равномерна по всем поверхностям, в отличие от модели, полученной путём экспорта.

5.2. Сравнительный анализ результатов расчёта моделей

Далее представлены результаты линейного расчёта обеих моделей конструкции. В качестве нагрузок на обе модели был задан только собственный вес. Вертикальные перемещения частей оболочки обеих вариантов моделей показаны на рис. 12 и 13.

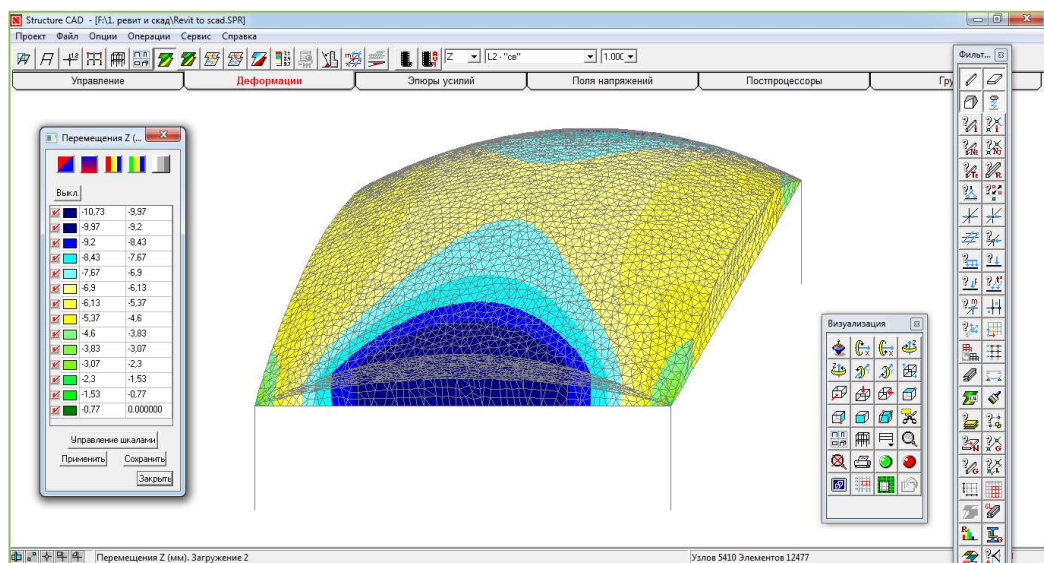


Рис. 12 Карта и значения вертикальных перемещений модели (мм), полученной в результате экспорта

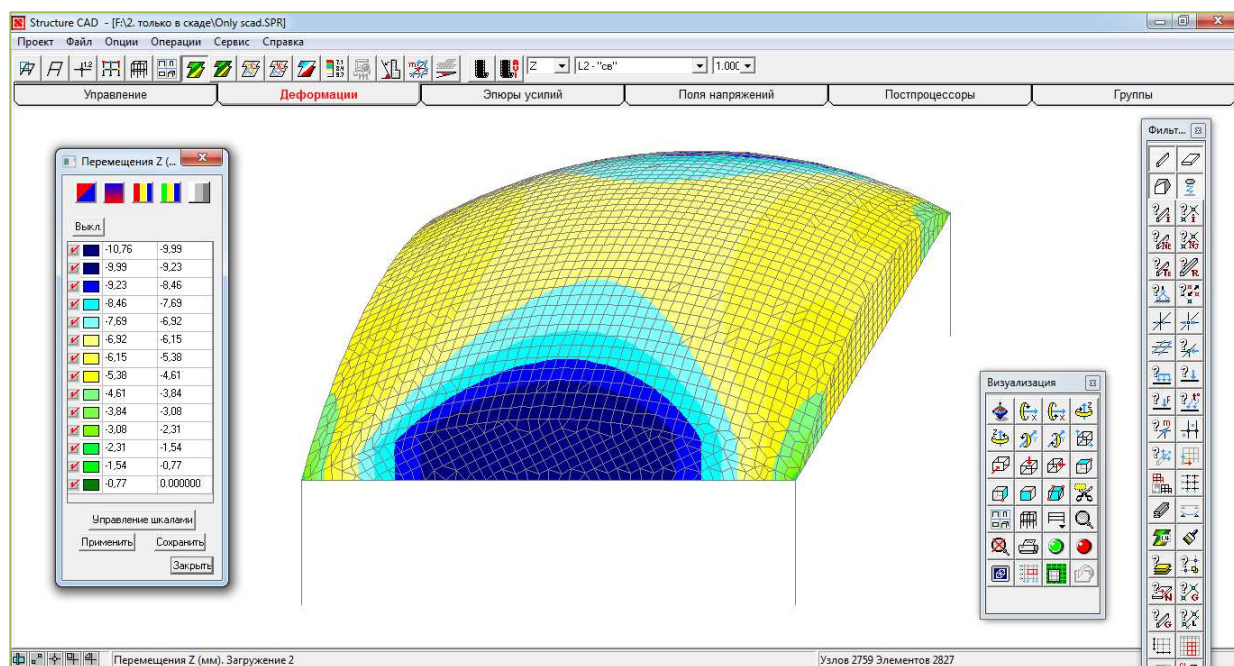


Рис. 13 Карта и значения вертикальных перемещений модели (мм), сформированной полностью средствами SCAD

Значения вертикальных перемещений соответствуют друг другу с точностью до десятых долей миллиметров. Картины распределения напряжений также идентичны в обоих случаях.

Далее рассмотрены значения моментов в точках соединения верхнего покрытия и стоек опирания по оси Y (вдоль длинной грани) (рис.14 и 15).

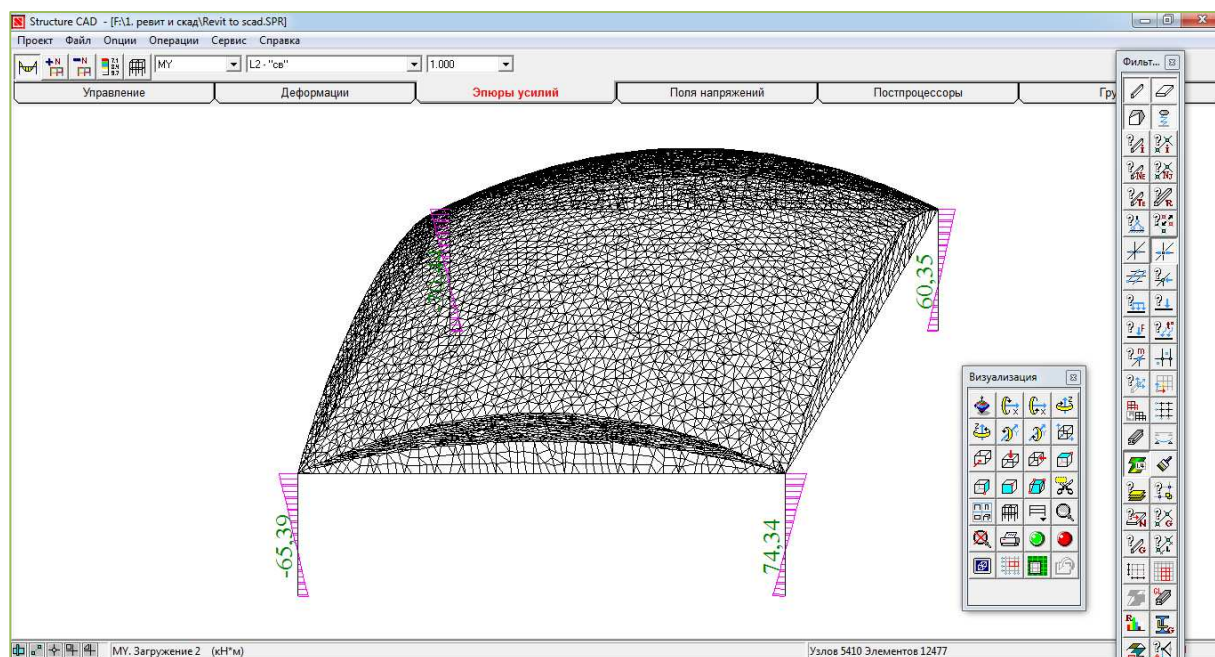


Рис. 14 Значения M_y в стойках модели, полученной в результате экспорта (кН*м)

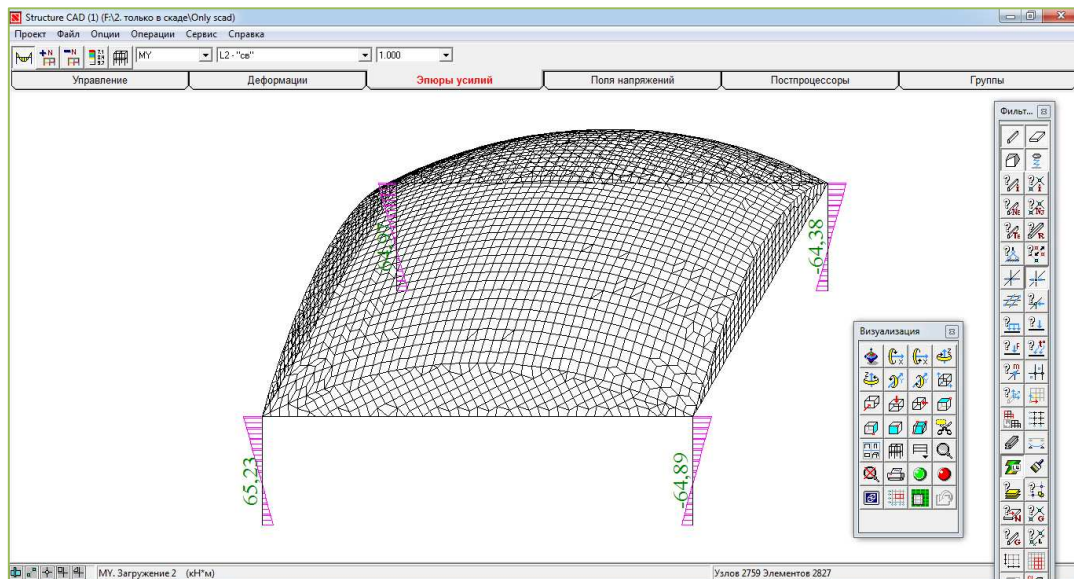


Рис. 15 Значения M_y в стойках модели, сформированной полностью средствами SCAD ($\text{kH}\cdot\text{м}$)

В данной конструкции, в силу её симметричности, моменты во всех точках опирания покрытия на стойки должны быть равны. Из рис. 14 видно, что в модели, полученной экспортом различие в моментах значительно: максимальное составляет 13,99 кН. Естественно предположить, что такое расхождение – результат действия ошибки, произошедшей во время экспорта: в местах соединения верхнего покрытия и боковых граней образовались щели.

В модели, возведённой полностью средствами SCAD (рис. 15), различие в моментах – 0,85 кН, что является результатом не полностью симметричного разбиения всей конструкции на конечные элементы. Это различие в моментах может нивелироваться уменьшением размеров сетки конечных элементов.

6. Возможности данного метода по экспорту более сложных форм оболочек

Далее представлены итоговые модели в SCAD конструкций с геометрически более сложными формами оболочек. Модели получены предложенным методом экспорта. Результат экспорта модели здания с оболочкой двоякой отрицательной гауссовой кривизны представлен на рис.16. Размеры конструкции – 20x15 м в плане и 7 м в высоту.

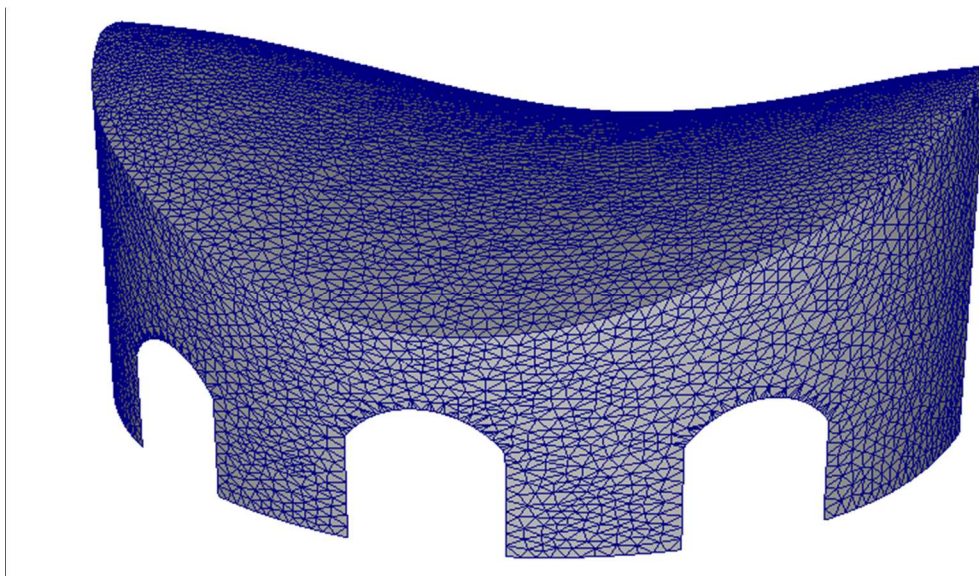


Рис. 16 Модель здания с покрытием из оболочки двоякой отрицательной гауссовой кривизны

Затраты времени на формирование такой модели составили 1,5 часа, из них 15 минут на возведение конструкции в Revit и 1 час 15 минут на генерацию результирующего проекта из сателлита Форум в SCAD. Процессы экспорта из Revit в Autocad и далее в Форум происходили в течение 2-3 секунд.

На следующем рисунке показан результат экспорта модели конструкции с оболочкой купольного типа (рис. 17). Размеры конструкции – 19х13 м в плане и 8 м в высоту.

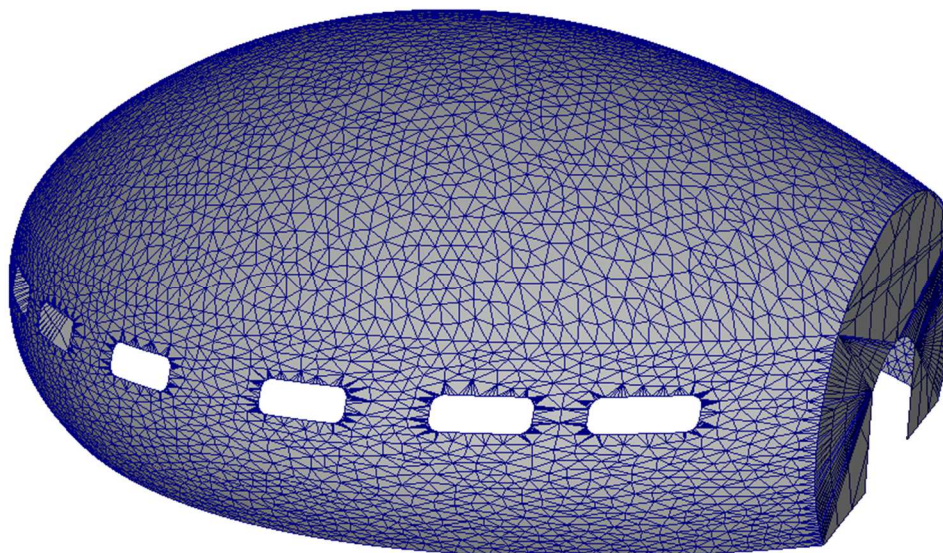


Рис. 17 Модель здания с оболочкой купольного типа

Затраты времени составили 10 минут на возведение конструкции в Revit и 1 час 30 минут на генерацию сетки конечных элементов.

На рис. 18 представлена модель ребристого купола – радиусом 10 м и стрелой 7,5 м.



Рис. 18 Модель ребристого купола

Затраты времени составили 15 минут на возведение конструкции в Revit и 2 часа на генерацию сетки конечных элементов.

7. Выводы

Итогом исследования стал следующий результат: была описана методика построения моделей сложных оболочковых конструкций путём экспорта из Revit в SCAD с использованием на промежуточных этапах Autocad и сателлита Форум. С помощью предложенной методики была получена модель конструкции с оболочкой двоякой положительной гауссовой кривизны, пригодная для дальнейших расчётов и анализа. Для проверки корректности методики был проведён сравнительный анализ полученной модели с моделью с аналогичными параметрами, возведённой полностью средствами SCAD, а также проведена оценка затрат времени на возведение обеих моделей.

Сравнение моделей показало, что затраты времени на получение модели предложенным методом экспорта составили – 10 мин, в то время как на возведение такой же конструкции средствами SCAD потребовалось – 40 мин, причём данная оболочка имеет несложную геометрию, соответственно при формировании более сложных моделей преимущество в затратах по времени будет ощутимее.

Был выявлен недостаток предложенной методики. Аппроксимация поверхностей на плоские элементы вызывает образование щелей в местах соединения верхнего покрытия с боковыми гранями и, как следствие, разницу в изгибающих моментах в точках опирания покрытия на стойки. Но неравномерное разбиение было получено только на боковых гранях, а такой недостаток возможно устранить вручную прямо в SCAD с небольшими затратами времени. Другой вариант исключить данную неточность в модели, это экспортировать из Revit в Autocad модель как тела ACIS, но так как сателлит Форум их не распознаёт, то необходимо производить дальнейшее преобразование в полигональные сети вручную в Autocad. Такой способ поможет избежать неточности в расположении крайних узлов, но вызывает изменение формы самого объекта, а также требует больше времени.

Было обнаружено, что на генерацию сетки конечных элементов в модели, полученной путём экспорта, ушло 3 минуты, в то время как при формировании модели в SCAD было затрачено 15 секунд. При возведении более сложных конструкций время генерации доходило до 2 часов. Такое увеличение времени процесса связано с недостатками процесса аппроксимации при экспорте в Autocad, соответственно необходимо провести дальнейший анализ данного метода для увеличения скорости процесса.

Моделирование более сложных форм показало, что предложенный метод экспорта даёт большие возможности в формировании конструкций сложной формы, которые технически сложно возводить средствами SCAD. В целом, предложенный метод позволяет качественно моделировать криволинейные поверхности, которые трудоёмко возводить средствами SCAD.

Литература

- [1]. Константинов И.А. Строительная механика. Применение программы SCAD для расчёта стержневых систем. Учебное пособие. Часть 1. СПб.: Электронный вариант для сайта кафедры СМиТУ, 2003. 89 с.
- [2]. Константинов И.А., Лалин В.В., Лалина И.А. Строительная механика. Расчёт стержневых систем использованием программы SCAD. Учебно-методический комплекс. Часть 2. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2009. 229 с.
- [3]. Кардаенко А.П. Учебное пособие. SCAD Office. Шаг за шагом. СПб.: Проектно-строительная компания "КАПроект", 2011. 87 с.
- [4]. Карпиловский В.С., Криксунов Э.С., Маляренко А.А., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А. SCAD OFFICE. Вычислительный комплекс SCAD. М.: Издательство СКАД СОФТ, 2009. 647 с.
- [5]. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. М.: ДМК Пресс, 2007. 600 с.
- [6]. Карпиловский В. С., Криксунов Э.З., Маляренко А. А. SCAD OFFICE. Формирование сечений и расчет их геометрических характеристик. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. 80 с.
- [7]. Карпиловский В.С. SCAD OFFICE. Реализация СНиП в проектирующих программах. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004. 288 с.
- [8]. Гордеев В.Н., Лантух-Лященко А.И., Пашинский В.А., Перельмутер А.В., Пичугин С.Ф. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. 482 с.
- [9]. Семенов А. А., Габитов А. И. Проектно-вычислительный комплекс SCAD в учебном процессе. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2005. 152 с.
- [10]. Труш. Л.И. Программно-вычислительный комплекс SCAD для расчета железобетонных конструкций: Учебное пособие. Н.Новгород: Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т. 2004. 101с.
- [11]. Егармин К.А., Сысоев Г.Ю., Ватин Н.И., Врублевская М.В. Анализ работы рамных узлов одноэтажного стального каркаса в условиях высокой сейсмики с использованием ПК "SCAD" // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 2(29). С. 34-44.
- [12]. Савченко А.В., Соловьева К.И., Теплова Ж.С. Применение ПК SCAD для построения линии влияния изгибающего момента // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 7(22). С. 71-81.
- [13]. Барановский М.Ю., Тарасов В.А. Стандартизированные ферменные конструкции с уклоном 10% пролётами 24, 30, 36 метров // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 7. С. 93-101.
- [14]. Зимин С.С., Кокоткова О.Д., Беспалов В.В. Сводчатые конструкции исторических зданий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 2(29). С. 57-72.
- [15]. Маляренко А.А. О взаимодействии SCAD и Revit // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2011. № 12. 60 с.
- [16]. Кукушкин И.С. О взаимодействии SCAD и Revit // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2011. № 12. 60 с.
- [17]. Тарасов В.А., Барановский М.Ю., Дуванова И.А., Сальманов И.Д., Павлушкина Ю.Е. Колебания стержневой системы с одной степенью свободы // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 10(37). С. 53-80.
- [18]. Комплекс программ SCAD Office - инструментарий инженера-проектировщика // Промышленное и гражданское строительство (ПГС): Ежемесячный научно-технический и производственный журнал. М.: Российская инженерная академия, 2004. №1. 64 с.
- [19]. Комплекс программ SCAD Office - инструментарий инженера-проектировщика // Промышленное и гражданское строительство (ПГС): Ежемесячный научно-технический и производственный журнал. М.: Российская инженерная академия, 2007. №3. 56 с.
- [20]. Комплекс программ SCAD Office - инструментарий инженера-проектировщика // Промышленное и гражданское строительство (ПГС): Ежемесячный научно-технический и производственный журнал. М.: Российская инженерная академия, 2007. №4. 60 с.
- [21]. Ватин Н.И., Синельников А.С. Большепролетные надземные пешеходные переходы из легкого холодногнутого стального профиля // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2012. № 1. С. 47- 52.
- [22]. Гарифуллин М.Р., Семенов С.А., Беляева С.В., Порываев И.А., Сафиуллин М.Н., Семенов А.А. Поиск рациональной геометрической схемы пространственной металлической конструкции покрытия большепролётного спортивного сооружения // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 2(17). С. 107-124.
- [23]. Бондарев А. Б., Югов А. М. Оценка монтажных усилий в металлическом покрытии с учётом сборки // Инженерно-строительный журнал. 2015. № 4(56). С. 28-37.

- [24]. Muschanov V., Protopopov I., Korsun O., Garifullin M. (2015). Defenition of the Rational Geometry of the Cable-Beam Cover over Stadium Tribunes. *Procedia Engineering*. 2015. No. 117. pp. 1006-1017.
- [25]. Diagilev G.S. Pulkovo Airport terminal hall steel structure. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2015. No. 3(30). pp. 166-174.
- [26]. Vatin N.I, Sinelnikov A.S. (2013). Strength and durability of thin-walled cross-sections. Design, fabrication and economy of metal structures. 2013. pp. 165-170.
- [27]. Golubeva E.A. (2014). Structural shell as an embodiment of the architectural idea. *New Ideas of New Century*. 2014. No. 2. pp. 66-70.
- [28]. Hea Y., Zhoua X., Zhanga X. (2012). Finite element analysis of the elastic static properties and stability of pretensioned cylindrical reticulated mega-structures. *Thin-Walled Structures*. 2012. No. 60. pp. 1–11.
- [29]. Al Ali M. (2014). Compressed Thin-Walled Cold-Formed Steel Members with Closed Cross-Sections. *Advanced Materials Research*. 2014. No. 969. pp. 93–96.
- [30]. Pavlović M., Spremić M., Marković Z., Budevac D., Veljković M. (2014). Recent research of shear connection in prefabricated steel-concrete composite beams. *Journal of Applied Engineering Science*. 2014. No. 12. pp. 75–80.
- [31]. Björk T., Saastamoinen H. (2012). Capacity of CFRHS X-joints made of double-grade S420 steel. *Tubular Structures XIV - Proceedings of the 14th International Symposium on Tubular Structures*. 2012. pp. 167–176.
- [32]. Folic R. (2009). Durability design of concrete structures – Part 1: analysis fundamentals. *Architecture and Civil Engineering*. 2009. No. 7(1). pp. 1–18.
- [33]. Halil Sezen, Jack P. Moehle. Strength and deformation capacity of reinforced concrete columns with limited ductility. 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver. B.C. Canada, 2004. 279 p.
- [34]. Eastman C., Jeong Y., Sacks R., Kaner I. (2009). Exchange model and exchange object concepts for implementation of national BIM standards. *J. Comput. Civ. Eng.* 2009. No. 24. pp. 25-35.
- [35]. Eastman C., Lee J., Jeong Y., Lee J. (2009). Automatic rule-based checking of building designs. *Automation in construction*. 2009. No.18. pp. 1011–1033.
- [36]. Ding L., Zhou Y., Akinci B. (2014). Building Information Modeling (BIM) application framework: the process of expanding from 3D to computable. *Automation in construction*. 2014. No. 46. pp. 82–93.

Method for constructing models of complex shell structures

A.V. Redkin¹, V.A. Tarasov², M.Yu. Baranovskiy³, A.B. Teplov⁴

¹⁻⁴*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia*

ARTICLE INFO	Article history	Keywords
scientific article	Received 3 January 2016	Revit; SCAD; Autocad; satellite Forum; reinforced concrete shell;

ABSTRACT

Shell structures made of reinforced concrete are one of the most elegant and at the same time cost-effective architectural solutions but have a huge deficiency namely the difficulty of the calculations in their design. Today thanks to the introduction of modern computer technologies in the processes of design of building structures, increased speed of calculations and their accuracy. Finite element method in conjunction with modern computer technologies creates opportunities for modeling and calculation of structures of any complexity. One of the possible decision is to use in tandem PC Revit and PC SCAD. PC Revit is one of the most popular program complexes for 3D modeling of constructions. PC SCAD is the most common calculating program in Russia. In the article on the example of shell with double positive Gaussian curvature is proposed and described method of exporting a model from PC Revit to PC SCAD using at intermediate stages PC Autocad and satellite of PC SCAD Forum. The result of application of this method is the finite element model of the reinforced concrete shell, which is fully prepared for further calculation and analysis. To verify the correctness of the method we compared the model obtained by the method of export and model made in PC SCAD. Moreover, it was conducted evaluation of time spent of the construction of models in both methods. The comparison showed that the time spent on getting the model with proposed method was 10 min while for the construction of the same structure only in PC SCAD took 40 min. In addition, this shell has a simple geometry respectively in the formation of more complex models the advantage in time consumption will be more sensible. At the same time, the comparison revealed a drawback in the process of approximation of the surfaces on the flat elements. This caused the formation of cracks in the joints of the top cover with lateral edges in the final model and as a consequence the difference in bending moments at the points of supporting of the cover on the racks. However, the uneven splitting was obtained only on the side faces and this shortcoming can be corrected in the PC SCAD with a small investments of time. Then there were illuminated other possibilities of the proposed method in the export of various forms of shells. Modeling of more complex shapes have shown that the proposed method of export gives large possibilities in the formation of structures of complex shapes, which are technically difficult to build in PC SCAD. Especially, proposed method allow to model qualitatively curved shells without joints, which are difficult to build only in PC SCAD.

Corresponding author:

1. +79214309040, redish132132@yandex.ru (Andrey Valeryevich Redkin, Student)
2. +7(952)2010537, vtarasov3766@yandex.ru (Vladimir Aleksandrovich Tarasov, Student)
3. +7(921)4077354, bm_y@mail.ru (Mikhail Yuryevich Baranovskiy, Student)
4. +7-921-582-61-31, abteplov@mail.ru (Andrei Borisovich Teplov, Student)

References

- [1]. Konstantinov I.A., Stroitel'naya mekhanika. Primeneniye programmy SCAD dlya rascheta sterzhnevnykh sistem. Uchebnoye posobiye. Chast 1. Saint-Petersburg: Elektronnyy variant dlya sayta kafedry SMiTU, 2003. 89 p. (rus)
- [2]. Konstantinov I.A., Lalin V.V., Lalina I.A., Stroitel'naya mekhanika. Raschet sterzhnevnykh sistem ispolzovaniyem programmy SCAD. Uchebno-metodicheskiy kompleks. Chast 2. Saint-Petersburg : Izd-vo Politehnicheskogo universiteta, 2009. 229 p. (rus)
- [3]. Kardayenko A.P., Uchebnoye posobiye. SCAD Office. Shag za shagom. Saint-Petersburg : Proyektno-stroitel'naya kompaniya "KAPproyekt", 2011. 87 p. (rus)
- [4]. Karpilovskiy V.S., Kriksunov E.Z., Malyarenko A.A., Mikitarenko M.A., Perelmuter A.V., Perelmuter M.A. Vychislitel'nyy kompleks SCAD [Computer complex SCAD]. Moscow : SKAD SOFT, 2009. 647 p. (rus)
- [5]. Perelmuter A.V., Slivker V.I. Raschetnyye modeli sooruzheniy i vozmozhnost ikh analiza. Moscow : DMK Press, 2007. 600 p. (rus)
- [6]. Karpilovskiy V.S., Kriksunov E.Z., Malyarenko A.A. SCAD OFFICE. Formirovaniye secheniy i raschet ikh geometricheskikh kharakteristik. Moscow : Izdatel'stvo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov, 2008. 80 p. (rus)
- [7]. Karpilovskiy V.S. SCAD OFFICE. Realizatsiya SNiP v proyektiruyushchikh programmakh, Moscow : Izdatel'stvo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov, 2004. 288 p. (rus)
- [8]. Gordeyev V.N., Lantukh-Lyashchenko A.I., Pashinskiy V.A., Perelmuter A.V., Pichugin S.F. Nagruzki i vozdeystviya na zdaniya i sooruzheniya. Moscow : Izdatel'stvo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov, 2007. 482 p. (rus)
- [9]. Semenov A.A., Gabitov A.I. Proyektno-vychislitel'nyy kompleks SCAD v uchebnom protsesse. Moscow : Izdatel'stvo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov, 2005. 152 p. (rus)
- [10]. Trush. L.I. Programmno-vychislitel'nyy kompleks SCAD dlya rascheta zhelezobetonnykh konstruktсий: Uchebnoye posobiye. N. Novgorod : Nizhegorod. gos. arkh.-stroit. un-t, 2004. 101 p. (rus)
- [11]. Yegarmir K.A., Sysoyev G.Yu., Vatin N.I., Vrublevskaya M.V. Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy. 2015. No. 2(29). pp. 34-44. (rus)
- [12]. Savchenko A.V., Solovyeva K.I., Teplova Zh.S., Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy. 2014. No. 7(22). pp. 71-81. (rus)
- [13]. Baranovskiy M.Yu., Tarasov V.A. Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy. 2014. No. 7. pp. 93-101. (rus)
- [14]. Zimin S.S., Kokotkova O.D., Besspalov V.V. Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy. 2015. No. 2(29). pp. 57-72. (rus)
- [15]. Malyarenko A.A. O vzaimodeystvii SCAD i Revit. BST : Byulleten stroitel'noy tekhniki. 2011. No. 12. 60 s. (rus)
- [16]. Kukushkin I.S. O vzaimodeystvii SCAD i Revit. BST : Byulleten stroitel'noy tekhniki, 2011. No. 12. 60 p. (rus)
- [17]. Tarasov V.A., Baranovskiy M.Yu., Duvanov I.A., Salmanov I.D., Pavlushkina Yu.Ye. Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy. 2015. No. 10(37). pp. 53-80. (rus)
- [18]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo (PGS): Yezhemesyachnyy nauchno-tekhnicheskii i proizvodstvennyy zhurnal. Moscow : Rossiyskaya inzhenernaya akademiya, 2004. No. 1. 64 p. (rus)
- [19]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo (PGS): Yezhemesyachnyy nauchno-tekhnicheskii i proizvodstvennyy zhurnal. Moscow : Rossiyskaya inzhenernaya akademiya, 2007. No. 3. 56 p. (rus)
- [20]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo (PGS): Yezhemesyachnyy nauchno-tekhnicheskii i proizvodstvennyy zhurnal. Moscow : Rossiyskaya inzhenernaya akademiya, 2007. No. 4. 60 p. (rus)
- [21]. Vatin N.I., Sinelnikov A.S. Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy. 2012. No. 1. pp. 47-52. (rus)
- [22]. Garifullin M.R., Semenov S.A., Belyayeva S.V., Poryvayev I.A., Safiullin M.N., Semenov A.A. Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy. 2014. No. 2(17). pp. 107-124. (rus)
- [23]. Bondarev A.B., Yugov A.M. Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. 2015. No. 4(56). pp. 28-37. (rus)
- [24]. Muschanov V., Protopopov I., Korsun O., Garifullin M. (2015). Defenition of the Rational Geometry of the Cable-Beam Cover over Stadium Tribunes. Procedia Engineering. 2015. No. 117. pp. 1006-1017.
- [25]. Diagilev G.S. Pulkovo Airport terminal hall steel structure. Construction of Unique Buildings and Structures. 2015. No. 3(30). pp. 166-174.
- [26]. Vatin N.I., Sinelnikov A.S. (2013). Strength and durability of thin-walled cross-sections. Design, fabrication and economy of metal structures. 2013. pp. 165-170.
- [27]. Golubeva E.A. (2014). Structural shell as an embodiment of the architectural idea. New Ideas of New Century. 2014. No. 2. pp. 66-70.

- [28]. Hea Y., Zhoua X., Zhanga X. (2012). Finite element analysis of the elastic static properties and stability of pretensioned cylindrical reticulated mega-structures. *Thin-Walled Structures*. 2012. No. 60. pp. 1–11.
- [29]. Al Ali M. (2014). Compressed Thin-Walled Cold-Formed Steel Members with Closed Cross-Sections. *Advanced Materials Research*. 2014. No. 969. pp. 93–96.
- [30]. Pavlović M., Spremić M., Marković Z., Budevac D., Veljković M. (2014). Recent research of shear connection in prefabricated steel-concrete composite beams. *Journal of Applied Engineering Science*. 2014. No. 12. pp. 75–80.
- [31]. Björk T., Saastamoinen H. (2012). Capacity of CFRHS X-joints made of double-grade S420 steel. *Tubular Structures XIV - Proceedings of the 14th International Symposium on Tubular Structures*. 2012. pp. 167–176.
- [32]. Folic R. (2009). Durability design of concrete structures – Part 1: analysis fundamentals. *Architecture and Civil Engineering*. 2009. No. 7(1). pp. 1–18.
- [33]. Halil Sezen, Jack P. Moehle. Strength and deformation capacity of reinforced concrete columns with limited ductility. *13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver*. B.C. Canada, 2004. 279 p.
- [34]. Eastman C., Jeong Y., Sacks R., Kaner I. (2009). Exchange model and exchange object concepts for implementation of national BIM standards. *J. Comput. Civ. Eng.* 2009. No. 24. pp. 25-35.
- [35]. Eastman C., Lee J., Jeong Y., Lee J. (2009). Automatic rule-based checking of building designs. *Automation in construction*. 2009. No.18. pp. 1011–1033.
- [36]. Ding L., Zhou Y., Akinci B. (2014). Building Information Modeling (BIM) application framework: the process of expanding from 3D to computable. *Automation in construction*. 2014. No. 46. pp. 82–93.

Редькин А.В., Тарасов В.А., Барановский М.Ю., Теплов А.Б., Методика построения моделей сложных оболочковых конструкций // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. №1 (40). С. 61-77.

Redkin A.V., Tarasov V.A., Baranovskiy M.Yu., Teplov A.B., Method for constructing models of complex shell structures. Construction of Unique Buildings and Structures, 2016, 1 (40), Pp. 61-77. (rus)