

КАК МЫ ВОСПРОИЗВЕЛИ ГЕНИАЛЬНУЮ ШУХОВСКУЮ БАШНЮ НА ОКЕ в nanoCAD Конструкторский BIM

Гиперboloидная конструкция башен выдающегося русского инженера и конструктора XIX века Владимира Григорьевича Шухова – прорывная как для своего времени, так и для современности. Шуховские гиперboloиды вдохновляли лучших архитекторов мира: Гауди, Ле Корбюзье, Нимейера, Нормана Фостера. Однако работы замечательного инженера долго оставались без внимания на его родине, в России. Мы решили привлечь внимание к уникальному архитектурному и инженерному наследию страны и воссоздали в программе nanoCAD Конструкторский BIM модель Шуховской башни на Оке, – располагая лишь фотографиями и двумя чертежами. Стремящаяся ввысь, легкая и воздушная Шуховская башня на Оке считается даже более совершенной, чем аналогич-

ное сооружение в Москве. Башня, которая расположилась недалеко от Дзержинска на берегу реки, признана объектом культурного наследия федерального значения и рекомендована к включению в список Всемирного наследия ЮНЕСКО.

Нам, коренным дзержинцам, показалось очень символичным воспроизвести знаменитую гиперboloидную конструкцию, разработанную выдающимся русским инженером и построенную рядом с нашим городом. Сделать это было решено в отечественном программном продукте.

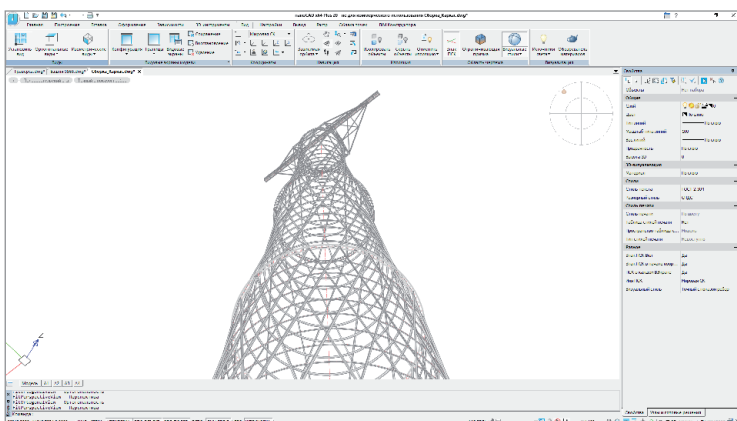
Почему из шести башен на Оке осталась одна

Пятисекционная 128-метровая башня недалеко от Дзержинска – единственная в мире гиперboloидная многосекцион-

ная опора линии электропередач. Это лишь одна, последняя из шести ажурных сетчатых конструкций, которые возвышались по обоим берегам Оки на протяжении XX века.

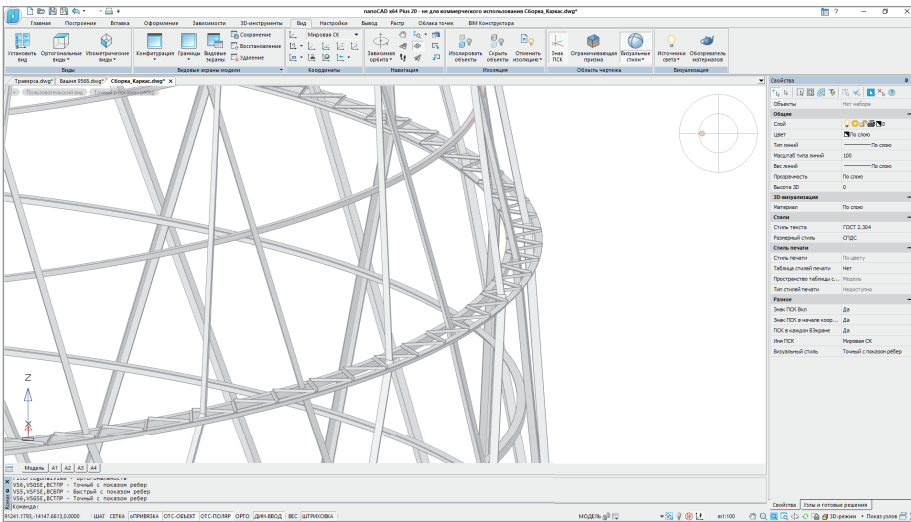
Четыре парные башни высотой 128 и 68 метров на низком берегу и две поменьше – по 20 метров – на высоком служили опорами линии электропередач и помогали освещать Нижегородскую область. Башни были построены с 1927 по 1929 год по проекту и под руководством Владимира Шухова, творца Шуховской теле- и радиобашни в Москве. Кстати, именно под впечатлением ее постройки Алексей Толстой написал фантастический роман "Гиперboloид инженера Гарина".

Вообще количество изобретений Шухова поражает воображение: от создания



Шуховская башня на Оке, спроектированная в nanoCAD Конструкторский BIM

Шуховская башня (фото взято из открытых источников интернета. Профиль DedushkaMPS)



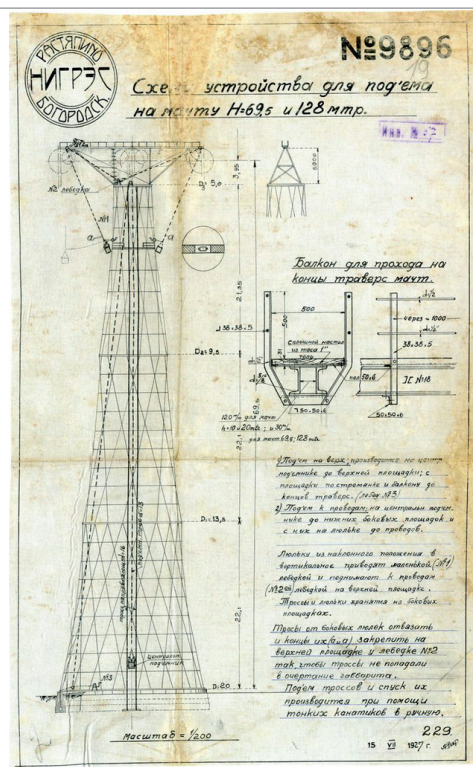
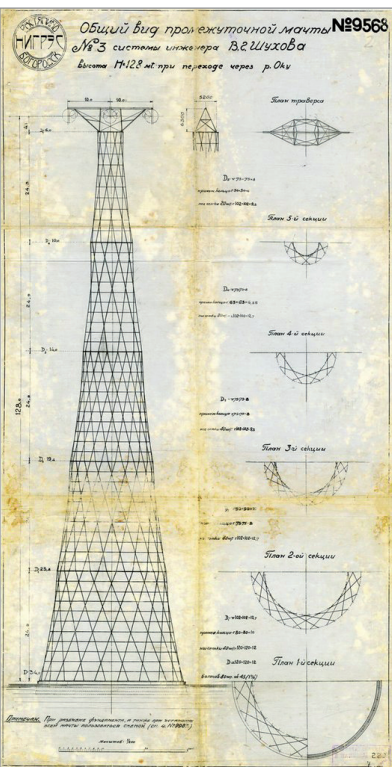
Процесс воссоздания Шуховской башни в папoCAD Конструкторский BIM

первых в мире гиперболических конструкций и металлических сетчатых оболочек строительных конструкций до установки термического крекинга нефти, создания морских мин, а также трубчатых паровых котлов, — и это далеко не полный список.

Но вернемся к башням. До нашего времени дожила лишь одна из них, героиня нашего проекта: четыре башни демонтировали после изменения маршрута ЛЭП, предпоследнюю сдали на металлолом, несмотря на статус объекта культурного наследия. Тем важнее было обратить

внимание на чудом уцелевшую конструкцию — памятник советского конструктивизма.

Сейчас ею занялись и региональные власти: ведутся работы по укреплению береговой линии (башня стоит на кольцевом бетонном фундаменте диаметром 30 метров непосредственно на берегу Оки, так что течение подтачивает песчаный берег, создавая угрозу повреждения фундамента и обрушения конструкции) и превращению башни в туристическую достопримечательность Нижегородской области.



Сохранившиеся чертежи Шуховской башни на Оке

Чем уникальны гиперболические конструкции

Гиперболические конструкции — несмотря на свою видимую кривизну — строятся из прямых балок. Это сооружения в форме однополостного гиперboloида или гиперболического параболоида, то есть дважды линейчатых поверхностей: через любую их точку можно провести две пересекающиеся прямые, которые будут целиком принадлежать поверхности.

Вдоль этих прямых и устанавливаются балки, образующие характерную решетку. Такая конструкция является жесткой: если балки соединить шарнирно, она все равно будет сохранять свою форму под действием внешних сил.

Шуховская башня на Оке состоит из пяти 25-метровых секций, по форме являющихся однополостными гиперboloидами вращения. Секции опоры сделаны из прямых профилей, упирающихся концами в кольцевые основания. На верхней секции установлена опорная конструкция с горизонтальной стальной траверсой длиной 18 метров для крепления трех высоковольтных проводов.

Придуманная и впервые разработанная Шуховым, такая конструкция предполагает малое количество материала для постройки, но при этом дает низкую ветровую нагрузку при высокой прочности и большой высоте.

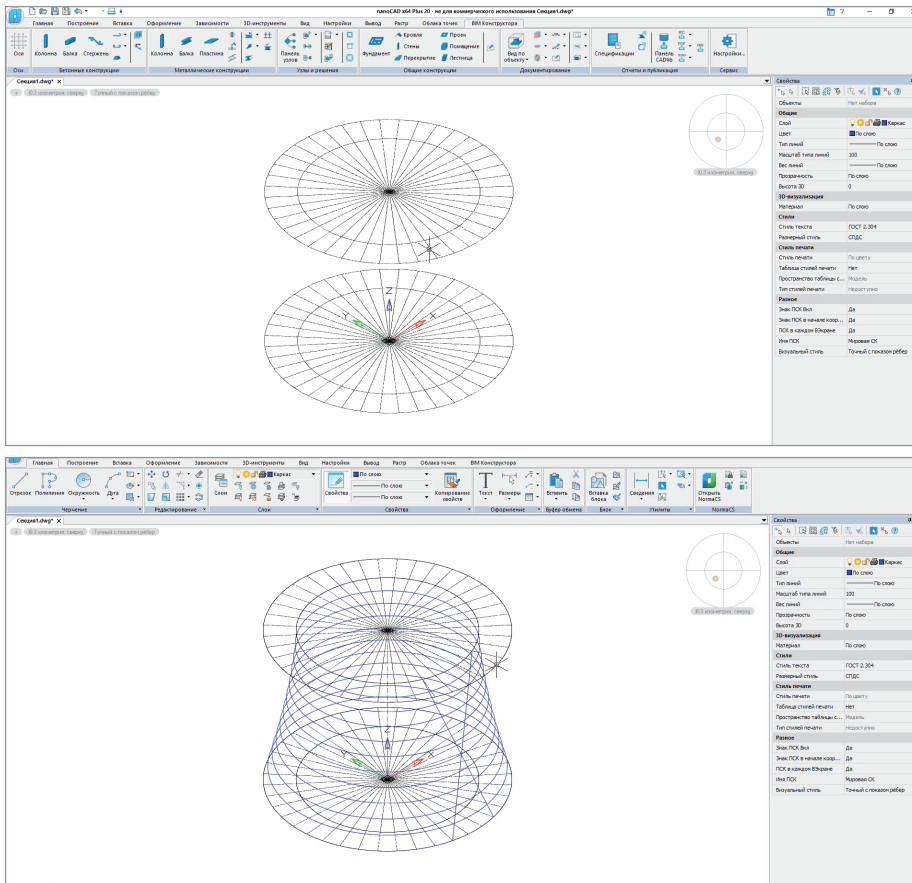
Шуховская башня на Оке — не только памятник архитектуры, но и памятник смелости инженерной мысли, история и память, запечатленные в стали!

Как шла работа над воссозданием башни в папoCAD Конструкторский BIM

Работа с папoCAD Конструкторский BIM позволила осмыслить наследие прошлого, понять, как проектировалось и воплощалось уникальное сооружение.

Фотографии и два чертежа

Нам удалось найти всего два чертежа. Один — чертеж нашей башни. В нем содержалась вся информация, достаточная для построения предварительного каркаса и основных элементов конструкции: размеры секций, размеры и количество профилей. Но не было ничего о верхней конструкции и траверсе. Эту информацию мы нашли во втором чертеже, который относился к не сохранившейся 68-метровой башне. Конструкцию колец основания секций пришлось строить по фотографиям с учетом некоторых данных из чертежа. Также по фотографиям создавались узлы крепления



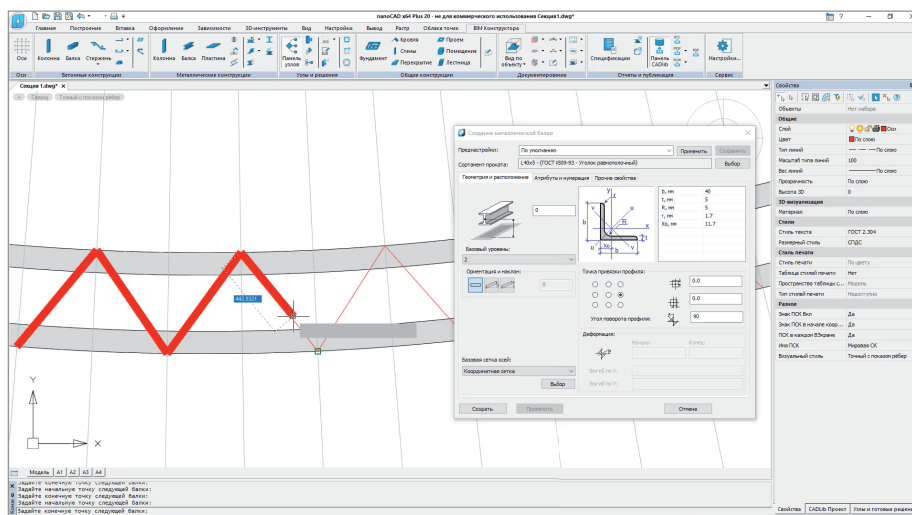
Процесс создания каркаса секции

конструкции и другие элементы, которых нет на чертеже общего вида.

Как построить одну секцию башни...

Очень хотелось прикоснуться к этому чуду инженерной мысли. Поначалу нас просто пугала сложность конструкции башни Шухова. Но, приступив к работе, мы разбили проект на небольшие понятные задачи и, последовательно решая одну за другой, постепенно пришли к по-

ставленной цели. nanoCAD Конструкторский BIM показал себя как надежный и умный помощник. Главной задачей проекта стало построение модели, которая максимально соответствовала бы реальной конструкции в принципиально важных моментах – в конструкции секции, а точнее в проработке наклонных образующих профилей. Наиболее сложным и интересным было построить одну секцию, а значит понять



Построение соединительных профилей

все особенности профилей секций, образующих гиперboloидную конструкцию. При построении скелета конструкции использовались простые примитивы наподобие отрезков и окружностей с нулевой толщиной. Это простая задача, которая сразу позволила визуализировать гиперboloидную конструкцию и уже на этом этапе дала довольно впечатляющий результат.

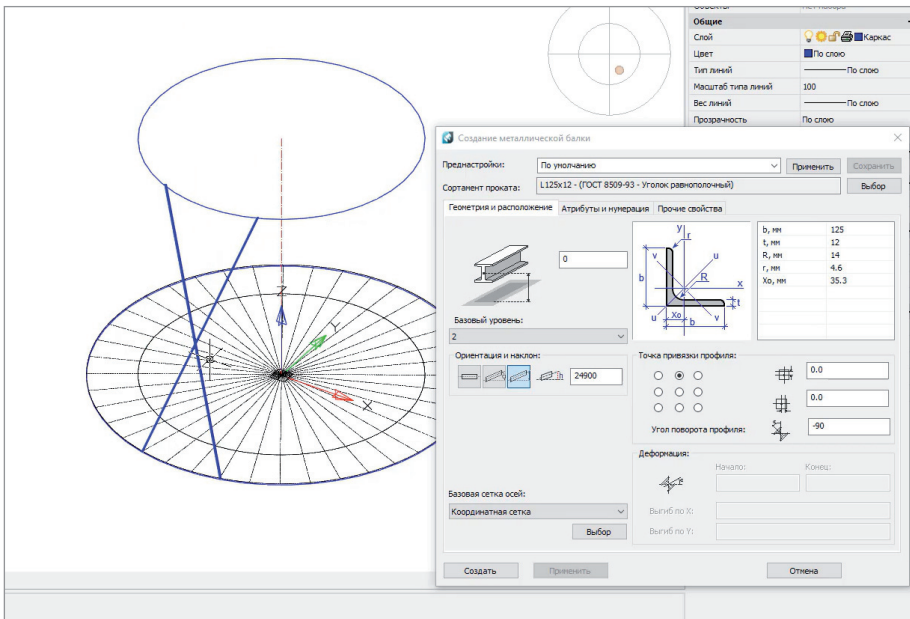
Однако дальше надо было задать отрезкам форму, учитывая, что эта форма – уголок с определенным положением в пространстве и ориентацией граней. Оказалось, что простая балка не может быть положена на отрезок так, чтобы в обоих основаниях получился требуемый узел. Более того, визуально пересекающиеся отрезки в каркасной модели имеют идеальное касание в одной точке, но в объемной модели уголки образуют жесткие коллизии друг с другом.

После детального изучения вопроса подтвердились догадки о том, что каждый профиль, являясь прямым, тем не менее торсионно закручивается вдоль оси. Это позволяет полке профиля подходить к обоим основаниям по касательной, а с пересекающимися профилями соприкасаться полками – между пересекающимися профилями дополнительно вставлена пластина, компенсирующая незначительную взаимную непараллельность соприкасающихся полок. В результате решено было использовать два способа: выдавливание по спиральной траектории и выдавливание с переходом.

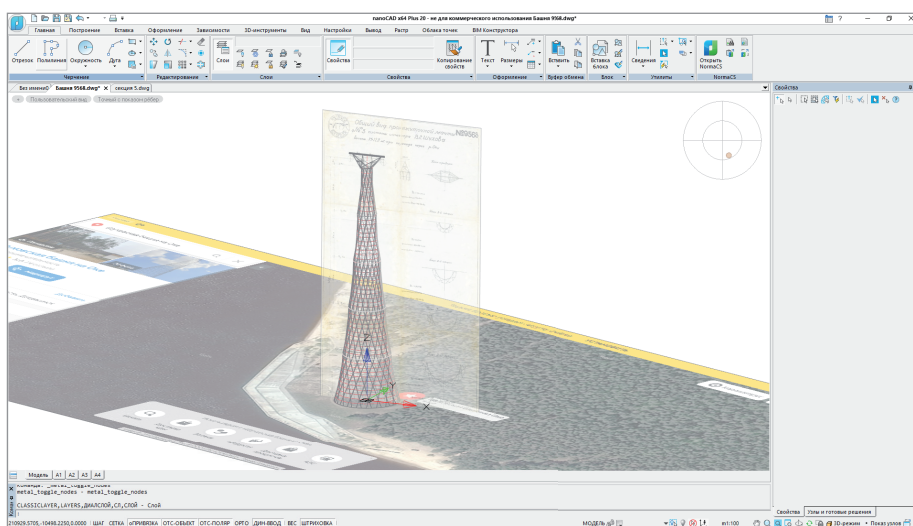
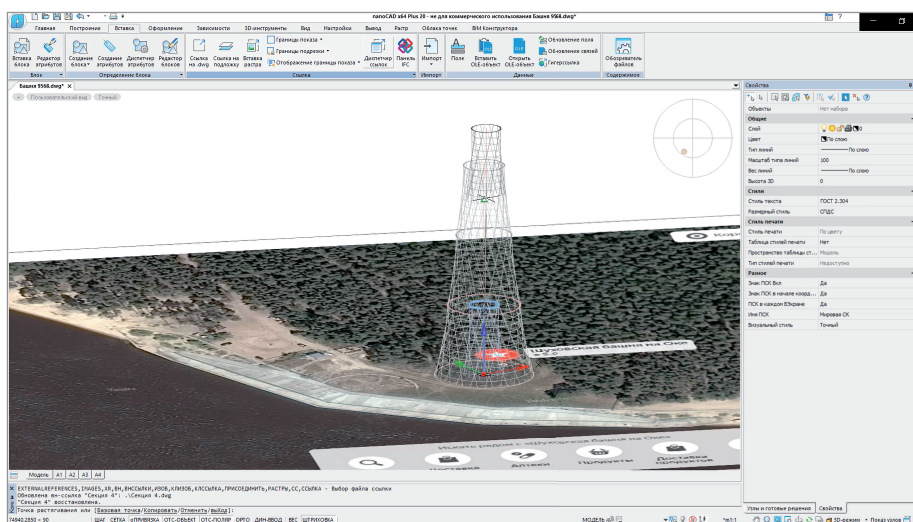
Первый способ потребовал довольно трудоемкой подготовки: следовало правильно расположить сечение выдавливания относительно начала профиля, что весьма нетривиально, и задать спираль выдавливания, которая имеет большую длину, но при этом в ней нет даже четверти витка. Второй способ дал практически моментальный результат: указываешь начальный профиль сечения у нижнего основания, конечный профиль у верхнего основания – и вуаля, профиль закручен! Построение остальных секций – дело техники.

...и как соединить секции между собой

Второй важной задачей стало построение узлов соединений, для чего требовалось обеспечить точные количественные показатели: метраж, крепеж и другие. При кажущейся простоте конструкции в ней достаточно много необычных элементов. Это гнутые профили в кольцах оснований, закручивающиеся профили,



Моделирование образующего профиля



Сборка конструкции

образующие гиперболическую конструкцию, составные профили.

При моделировании верхней конструкции с траверсой приходилось часто менять ПСК и внимательно следить за многочисленными элементами конструкции, образующими паутину. Сама траверса требовала пристального внимания буквально к каждому профилю.

В работе над моделью башни такие, казалось бы, нехитрые инструменты, как сетка осей, круговой массив, деление отрезка на равные части, позволили за считанные минуты отстроить каркас. А база данных элементов, конструктор оборудования и выдавливание по криволинейной траектории так же быстро превратили каркас в объемную конструкцию, позволив в подробностях увидеть каждый элемент сопряжения, проработать десяток черновых вариантов, рассмотреть свои ошибки и практически сразу исправить их. Имея в руках такой удобный инструмент, как папаCAD Конструкторский BIM, сложно представить, как инженеры начала прошлого века создавали подобные проекты на бумаге.

Что дальше

Этот проект дал импульс развитию и оптимизации самой программы папаCAD Конструкторский BIM. Все задачи, которые были поставлены на первом этапе создания модели Шуховской башни, решены. Сейчас в модели еще нет некоторых узлов крепления элементов конструкций между собой, но работа над ее созданием продолжается и будет доведена до конца.

Часть этих задач дала разработчикам понимание, в каком направлении нужно вести работы над улучшением инструментов папаCAD Конструкторский BIM и расширением его функциональности. Например, мы обратили внимание на завинчивание прямолинейных элементов из базы данных.

Работа в папаCAD Конструкторский BIM – это возможность развивать и поддерживать инновационные решения в проектировании, изучать, хранить и применять опыт предшественников уже на новом уровне. Полет инженерной мысли соединяет времена и вдохновляет на творчество, а потенциала конструкций В.Г. Шухова хватит еще на много лет вперед!

*Сергей Стромков,
инженер первой категории
отдела технической поддержки
компании "Арксффт"*