

**Анна Ларина /
Anna Larina**

**«Скайлинк» в аэропорту Франкфурта
„SKZLINK“ AM FRANKFURTER FLUGHAFEN**

Ключевые слова: конструкция, Скайлинк, алгоритм, структура, сталь, мост, аэропорт.

Stichwörter: Fachwerkkonstruktion, Skylink, Computer-Algorithmus, Zufallsschema, Generierungsprozess, Stahlknoten, Brückenelement.

«Skylink» ist die erste parametrisch am Computer generierte und optimierte Brücke, die auch gebaut wurde, erhielt eine Auszeichnung beim Preis des Deutschen Stahlbaus 2012. Die zufällig erscheinende Anordnung der Diagonalen ist das Ergebnis eines evolutionären Designprozesses.

Die neue Brücke am Frankfurter Flughafen verbindet das Bürogebäude „The Sqaire“ mit einem 300 m entfernten Parkhaus und verläuft über eine Reihe von Hauptverkehrsadern und ein Drainagebecken. Die Brücke befindet sich über der Hauptzufahrt zum Terminal 1 am Frankfurter Flughafen. Die Konstruktion musste einem sehr hohen ästhetischen Anspruch gerecht werden - die Wahl fiel auf eine Stahlfachwerkbrücke.

Die Fachwerkkonstruktion des Skylink mit seinen Diagonalen stellt eine ingenieurtechnische Besonderheit dar. Die Diagonalen wurden mit einem speziellen Computer-Algorithmus generiert, bei dem die Diagonalen zunächst nach einem Zufallsschema angeordnet werden und danach die gesamte Konstruktion analysiert wird. Auf diese Weise ergab sich eine Struktur, die den Anforderungen gerecht wird, aber wie zufällig angeordnet wirkt.

In der Laudatio bei der Preisverleihung am 19. Oktober 2012 hieß es: «Der Skylink ist ein Schmuckstück im städtebaulichen Chaos des Frankfurter Flughafens. Die erste parametrisch am Computer generiert und optimierte Brücke der

Welt spannt sich die elegante Stahlkonstruktion in neun geschwungenen Abschnitten über 200 Meter».

Die durchgehende Fachwerkkonstruktion besteht aus vier Gurten und hat einen Gesamtquerschnitt von 5 m x 5 m, durch den die Kabinenbahn fährt. In der Mitte, wo sich zwei Kabinen begegnen, beträgt der Querschnitt 5 m x 8 m. An dem Ende der Brücke, wo sie an das Bürogebäude anschließt, krägt sie ungefähr 9 m aus. Über die letzten 2,5 m bildet sich ein gelenkiges Brückenelement aus, das die unterschiedlichen Verformungen zwischen dem Skylink und dem Bürogebäude aufnimmt. Durch die horizontale Gleitlagerung (Bewegungsfuge) dieses letzten Brückenelements werden eventuelle Temperaturzwängungen verhindert. Die horizontalen Verformungen in Richtung der Skylinkbrücke am Bürogebäude ende betragen ca. +/-10 cm.

Generierungsprozess

Von Anfang an bemühten sich die Architekten, eine unregelmäßige Struktur zu erzeugen, die nicht auf traditionellen strukturellen Typologien beruht. Herkömmliche Top-Down-Methoden eignen sich nicht für ein solches Vorhaben. Daraus ergab sich die Entwicklung eines speziellen Generierungsprozesses unter Verwendung der Computersoftware GENTS.

Innerhalb definierter Grenzbedingungen werden in kurzer Zeit eine hohe Anzahl an zufälligen Strukturen generiert und berechnet. Die generierten Strukturen gehen aus einem iterativen Prozess hervor, bei dem Grundlagen der Evolutionstheorie - wie zum Beispiel Selektion, Mutation und Rekombination - mit herangezogen werden, bis eine möglichst effiziente Struktur gefunden wird. Die Ergebnisse zeigen sehr unregelmäßige Strukturen, Einflüsse aus und auf das Tragverhalten sind komplex und lassen sich nicht auf den ersten Blick ableiten. Darüber hinaus können hellere und effektivere Strukturen entwickelt werden, besonders wenn man unregelmäßige Rahmenbedingungen hat.

Für die gesamte Stahlstruktur, d. h. die Brückenkonstruktion inklusive der acht

Stützen, wurden über 500 t Stahl verbaut. Bei der Vormontage in der Werkstatt wurden sowohl die vier Gurte inklusive aller Steifen zusammenschweißt als auch die dreiecksförmigen Stützen. Des Weiteren wurden alle anderen Profile auf die korrekte Länge zugeschnitten. Die Außenseite der Gurte erhielt eine Markierung für die Lage der Steifen, damit die Diagonalen an der richtigen Stelle angeschlossen werden.

Aufgrund der großen Abmessungen war es unmöglich, Teile der Brücke bereits vorgefertigt auf die Baustelle zu transportieren. Alle Einzelteile wurden lose angeliefert und vor Ort zusammengebaut. Auf der Baustelle wurde die Brücke in acht Elemente aufgeteilt. Die Arbeiter montierten die Elemente am Boden vor und jeweils zwei Großkräne hoben sie ein. Dies erfolgte teilweise in der Nacht, da unter anderem auch die Zufahrt zum Flughafen für den Einhub gesperrt werden musste. Im Anschluss wurden die Elemente zusammenschweißt und die Endbeschichtung aufgetragen. Die Fertigung erfolgte praktisch am Baufeld. Die größten Brückensegmente erreichten ein Gewicht von über 110 Tonnen und eine Länge von bis zu 90 Metern.

Wie die meisten filigran erscheinenden Konstruktionen mit „tragender Rolle“ stellten auch die Stäbe im Skylink eine große Herausforderung für den Stahlbauer dar. Die Stahlknoten zwischen den Ober- den Verbindungen waren sehr komplex. Einerseits bestand die Herausforderung in der Art der Struktur selbst. Es handelt sich dabei um eine unregelmäßige Fachwerkkonstruktion aus Hohlprofilen mit unterschiedlichen Stäben. Zudem gab es in der tragenden Struktur keine Schraubverbindungen, d. h. es wurden alle Stäbe mittels Schweißnähten verbunden. Dies stellte sowohl an den Zusammenbau als auch an die Schweißermansschaft sehr hohe Anforderungen. Insgesamt wurden ca. 1000 Verbindungsstäbe in

der Brücke verbaut, die rund 300 Meter lang ist und in 16 bis 18 Metern Höhe verläuft.

Скайлинк – это первый мост со сгенерированными и оптимизированными на компьютере параметрами, получивший награду в номинации немецких стальных конструкций в 2012 году. Беспорядочное расположение диагоналей моста является результатом эволюционного процесса проектирования.

Новый мост в аэропорту Франкфурта соединяет офисное здание "Squaire" с 300-метровой автостоянкой и проходит над главной дорогой и водосборным резервуаром. Мост расположен над главной дорогой к Терминалу 1 аэропорта Франкфурта. Конструкция должна была удовлетворять всем высоким и эстетическим требованиям – выбор пал на стальную ферму моста.

Структура ферм Скайлинка с его диагоналями представляет собой нестандартное инженерное решение. Диагонали были получены с помощью специального компьютерного алгоритма, в котором диагонали сначала располагаются в случайном порядке, а затем вся структура подвергается анализу. Таким образом, была получена структура, отвечающая требованиям, но словно построенная случайно.

На церемонии награждения 19 октября 2012 года сообщали: «Скайлинк является жемчужиной в городском хаосе аэропорта Франкфурта. Первый мост со сгенерированными и оптимизированными на компьютере параметрами растягивается стальной структурой с девятью криволинейными участками почти на 200 метров».

Непрерывная структура фермы состоит из четырех поясов и имеет полное сечение 5 м x 5 м, по которым движется канатная дорога. В середине, где встречаются две

кабинки, сечение 5 м х 8 м. В конце моста, где он соединяется с офисным зданием, он выступает в виде консоли примерно на 9 метров. Последние 2,5 м составляет навесной мостик, который учитывает различные деформации между Скайлинком и офисом. Горизонтальный подшипник скольжения (компенсатор) это последний элемент моста, который поглощает любые деформации при перепадах температур. Горизонтальные деформации в направлении офисного здания по мосту составляют около + / - 10 см.

С самого начала, архитекторы постарались создать нерегулярную структуру, которая не основана на традиционных структурных типологиях. Традиционные методы «сверху вниз» не подходят для такого проекта. Это привело к разработке процесса специальной генерации с помощью компьютерного программного обеспечения GENT.

В определенных случаях, большое количество генерируется в случайную структуру и рассчитывается в течение короткого времени. Сформированные структуры выходят из интерактивного процесса, где основы эволюционной теории – такие, как, например, селекции, мутации и рекомбинации – также используются в наиболее эффективных структурах. Результаты показывают очень нерегулярные структуры. Влияния на поведение конструкции сложны и, на первый взгляд, не могут быть получены. Кроме того, могут быть разработаны более легкие и более эффективные структуры, особенно если у вас есть нерегулярные условия.

Для всей стальной структуры, т.е. структуры моста, включая восемь колонн, были использованы более 500 тонн стали. При предварительной сборке в мастерской четыре пояса, включая все ребра жесткости, были приварены друг к другу и к треугольным опорам. Кроме того, все другие профили были укорочены до нужной длины. На внешней стороне поясов были маркеры для расположения элементов

жесткости, так что диагональные распорки соединены в нужном месте.

Из-за больших размеров не было возможности транспортировать сборные секции моста на место строительства. Все отдельные детали были доставлены и собраны на месте. На месте строительства мост был разделен на восемь элементов. Рабочие собрали все элементы на земле, и, затем, два больших крана подняли их. Это было сделано отчасти в ночное время, поскольку, помимо прочего, доступ к аэропорту должен был быть закрыт. К концу строительства все элементы были сварены вместе и получили финишное покрытие. Сборка происходила практически на строительной площадке. Наиболее крупные сегменты моста достигали веса в 110 тонн и длины до 90 метров.

Как и большинство таких конструкций, стержни Скайлинка представляли собой серьезную проблему для изготовителей стальных конструкций. Стальные узлы между верхними и нижними соединениями были очень сложными. С одной стороны, проблема состояла в виде самой структуры. Строительство нерегулярной структуры представляло собой пошаговую сборку из полых профилей с различными стержнями. Также в несущей конструкции не было винтов, то есть все стержни были соединены сваркой. Перед швейцарской сварочной командой стояли очень высокие требования в работе. В общей сложности, около 1000 шатунов были установлены в мосту, длина которого около 300 метров и высота от 16 до 18 метров.

Список использованных источников

1. www.detail.de
2. www.duden.de