УДК 69.057

© М. М. Тонакян, аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)
E-mail: tonakanian93@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-5-141-146

© М. М. Tonakanyan, post-graduate student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)
E-mail: tonakanian93@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ НЕГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА, ВЛИЯЮЩИХ НА ИЗГОТОВЛЕНИЕ И МОНТАЖ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

RESEARCH OF NON-GEOMETRIC FACTORS AFFECTING THE MANUFACTURE AND INSTALLATION OF STEEL STRUCTURES

Рассматриваются факторы, влияющие на процессы изготовления и монтажа стальных конструкций. Основное внимание уделяется факторам негеометрического характера, проводится их анализ и выявляются зависимости друг от друга. На основании данных зависимостей даются комментарии к возможности усовершенствования методологии расчета технологических допусков при изготовлении и монтаже стальных конструкций.

Ключевые слова: стальные конструкции, точность изготовления, монтаж стальных конструкций, технологичность, металлоемкость, эффективность использования сечения, оптимизация, анализ факторов.

The article discusses the factors affecting the processes of manufacturing and installation of steel structures. The main focus is on the non-geometric factors, the analysis of them is carried out, and dependencies on each other are revealed. Based on these dependencies, recommendations are offered regarding the possibility of improving the methodology for calculating technological tolerances in the manufacture and installation of steel structures.

Keywords: steel structures, manufacturing accuracy, installation of steel structures, manufacturability, metal consumption, section efficiency, optimization, factor analysis.

На сегодняшний день стальные конструкции широко используются в строительстве, что объясняет их стремительное развитие. Следует отметить, что наибольшее практическое применение металлические конструкции получили в области строительства пролетных и большепролетных стержневых конструкций, предназначенных для различных производственных потребностей (заводы, склады, административные корпуса). Собираемость металлических конструкций является одной из приоритетных задач в проектировании. Важно подчеркнуть, что при расчете собираемости конструкций и расчетах допусков геометрические параметры являются определяющими [1–3], но не стоит забывать и о других факторах, влияющих на процессы изготовления и монтажа стальных конструкций, без учета которых данные виды расчета не отражают полной картины. Это факторы негеометрического характера, к ним следует отнести: способ

соединения; технологичность; трудоемкость; металлоемкость; оптимизацию и типизацию.

Способ соединения. Как известно, существует три вида соединений: болтовые, сварные и заклепочные (рис. 1, а–в). В настоящее время широкое применение получили первые два типа.

Если задача определения собираемости конструкции стоит так, что процесс изготовления происходит в условиях строительной площадки, то соединение должно быть максимально технологичным, простым в изготовлении, надежным и безопасным, также трудоемкость изготовления конструкций с болтовыми соединениями гораздо выше, нежели сварных. Что касается монтажа стальных конструкций, то смонтировать конструкцию на болтовых соединениях гораздо проще, чем использовать сварные соединения. Поэтому при расчете следует обратить на это внимание.

Рис. 1. Разные типы соединений: а — болтовое; б — сварное; в — заклепочное

Технологичность. Технологичность — один из основных факторов, учитываемых при расчетах собираемости стальных конструкций [4].

Так как в возведении стальных каркасов в основном существует три основных цикла: изготовление конструкций на производстве, транспортировка на строительную площадку и их монтаж, то оценивать технологичность нужно непосредственно по этим циклам. В случаях, когда изготовление конструкций происходит на строительной площадке, транспортировка как отдельный цикл перестает быть актуальной.

Параметр технологичности монтажа конструкций может быть охарактеризован обобщенным свойством монтируемых конструкций, учитывающим требования технологии производства работ и позволяющим изготавливать конструкции, при этом максимально снизить трудозатраты.

Монтажная технологичность бывает абсолютной и относительной.

Абсолютные показатели, регулирующие строительно-технологическую характеристику:

- общее число элементов;
- количество укрупненных элементов;
- средняя масса одного элемента;
- максимальная масса монтируемого элемента;
- общая масса всех монтируемых элементов.

Показатели монтажной технологичности, которые оказывают влияние на строительные процессы по возведению стальных конструкций:

- показатель конструктивной и технологической приемственности, разумности используемого материала;
- сведение к минимуму сложных операций сборки и подгонки конструкций на монтаже.

Приемственность конструкций может варьироваться в зависимости от коэффициентов применимости, повторяемости, унификации и стандартизации, которые считаются индивидуально, и правильнее будет их считать относительно трудоемкостей элементов (рис. 2).

Трудоемкость. Трудоемкость — это параметр, характеризующий сложность технологических процессов изготовления или монтажа строительных конструкций. Принятие правильных

Рис. 2. Зависимость технологичности T_x от трудоемкости T_p технологических процессов

конструктивных и технологических решений напрямую влияет на трудоемкость [5–6].

На трудоемкость влияют следующие факторы:

1. Геометрические размеры конструкции. Такие параметры, как вес, длина пролета, габариты конструкций, определяют выбор того или иного решения поставленной задачи (рис. 3) [7].

2. Способ и условия производства технологических процессов изготовления и монтажа конструкций.

3. Точность изготовления металлопроката. Различные отклонения и неточности в изготовлении металлопроката способствуют увеличению трудоемкости изготовления. С увеличением трудоемкости увеличивается и стоимость работ по изготовлению конструкций. Особенно это сказывается на болтовых соединениях (рис. 4).

Также установлено, что трудоемкость изготовления конструкции в функции ее массы является выпуклой кривой (рис. 5). Изменяемый параметр — степень сложности монтажа и наличие оборудования, что отражается на графике изменением угла наклона.

Металлоемкость. Параметр металлоемкости также немаловажен при решении прямых инженерных задач во время проведения расчетов стальных конструкций.

Выбор стали является одним из важнейших факторов, влияющих на металлоемкость. Применение более прочных сталей в растянутых или изгибаемых элементах приводит к ощутимой экономии — до 25 % при определенных обстоя-

Рис. 3. Трудоемкость изготовления 1 т конструкций в функции основных параметров конструкций (G, L и т. п.)

Рис. 4. Отклонения в изготовлении металлопроката (показаны схематично) — способствуют увеличению трудоемкости в процессе стыковки и последующей зачистки сварных швов стыкуемых элементов

Рис. 5. Трудоемкость изготовления 1 шт. конструкции в зависимости от веса G

тельствах. Это определяется зависимостью массы стержня (m) от расчетного сопротивления стали (R_y). Чем выше прочность металла, тем меньше масса стержня, но это работает только в растянутых и изгибаемых элементах конструкции.

Также на металлоемкость влияет рациональная компоновка элементов в конструкции, главное в которой — подбор поперечного сечения элементов. Чаще всего используют сечения профильных труб или двутавры, что также наиболее выгодно. При применении профильных труб экономия достигается не только выбором рационального сечения (сечение специфично в зависи-

мости от центра тяжести), но и посредством эффективности соединений сборочных элементов, количество фланцев в таких узлах минимально.

Параметр тонкостенности — наиболее показательный при проектировании, а также отражает эффективность выбранного сечения. Отношения t/h и t/b являются определяющими. Чем ниже данный показатель, тем расход металла в принятой конструкции меньше. Делая подбор сечения с учетом данного параметра, необходимо помнить об условиях коррозионного износа и устойчивости отдельных элементов конструкции [8].

Оптимальный расход металла определяется еще и при компоновке сборочных элементов в конструкции, также устанавливаются геометрические параметры. Например, для ферм это тип решетки, длина панели пояса, очертания конструкции.

В большепролетных конструкциях выгодно использовать очертания, повторяющие эпюру моментов, то есть параболические. Для ферм до 40 м оптимальным является трапециевидное очертание. Однако наибольшее распространение получили фермы с параллельными поясами, так как их трудоемкость в изготовлении минимальна в связи с одинаковыми размерами сборочных элементов панелей. Кстати, их вес, при прочих равных, на 3–4 % выше, чем трапециевидных.

И наконец, при осуществлении данных расчетов следует обратить внимание на экономичность соединений и узлов. Конечно, наиболее технологичны сварные соединения, однако монтаж данных конструкций займет гораздо больше времени, нежели монтаж болтовых соединений.

Один из определяющих факторов, влияющих на металлоемкость, — общая компоновка здания. Установка генеральных размеров, расположение основных несущих конструкций в плане, компоновка связей, как и второстепенных конструкций, являются составляющими параметрами компоновки в целом. Задачи компоновки выгодно и необходимо решать с помощью сравнения вариантов.

При компоновке здания важным параметром является способ концентрации материала — метод, позволяющий экономично распределить материал в конструкции. Его основная идея заключается в том, что чем массивнее несущие сбо-

рочные элементы конструкции, тем на большее расстояние их можно разнести, тем самым освободить дополнительное пространство внутри, а также сделать менее металлоемкими остальные элементы конструкции. Это приводит к существенной экономии. Известно, что изготовить тонну крупных конструкций проще и дешевле, чем легких.

Также при использовании данного метода следует обращать внимание на пространственную работу конструкции. Это можно сделать с помощью ЭВМ.

Графически нахождение оптимального сечения показано на рис. 6. Увеличение высоты сечения балки на 5–15 % приводит к увеличению металлоемкости на 3–4 %.

Таким образом, чтобы создать оптимальную по расходу металла конструкцию, нужно:

1. Выбрать материал и форму поперечного сечения.
2. Решить задачу компоновки элементов конструкции.
3. Выбрать типы узлов и соединений.
4. Решить задачу компоновки каркаса здания.

Оптимизация и типизация. Данные параметры — главные при расчете экономичности, а в конечном итоге и стоимости конструкции. Так как при решении задач оптимизации увеличивается технологичность, сборочные элементы становятся более рациональными, а трудоемкость изготовления и стоимость, соответственно, снижаются, также уменьшаются сроки про-

Рис. 6. График зависимости массы балки G_6 от высоты сечения h

изводства работ, что позитивно сказывается на технологических процессах в целом [9].

Заключение

Таким образом, после рассмотрения вышеперечисленных факторов, установлено, что все они тесно связаны между собой. Учет этих факторов в той или иной степени влияет на технологические процессы изготовления и монтажа стальных конструкций. Соответственно, их следует учитывать и при расчете технологических допусков, несмотря на то что данные допуски относятся к допускам геометрического характера.

В ходе исследования выявлено, что отклонения сборочных элементов проектируемой конструкции должны не только удовлетворять геометрическим допускам, описанным в действующих нормативных документах, но и учитывать вышеперечисленные параметры и их зависимости. Это приведет к повышению технологичности и оптимизации конструкций, а также к снижению трудоемкости, продолжительности отдельно взятых технологических процессов и, соответственно, конечной стоимости.

Библиографический список

1. Авиром Л. С. Надежность конструкций сборных зданий и сооружений. Л.: Стройиздат, 1971. 216 с.
2. Беляев Б. И. О точности изготовления и монтажа стальных конструкций // Промышленное строительство. 1961. № 4.
3. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 1977. 479 с.
4. Вытшис А. П., Парасонис И. И., Клевцов В. А. Обеспечение точности геометрических параметров монтажа конструкций одноэтажных каркасов промышленных зданий // Промышленное строительство. 1988. № 6. С. 37–38.
5. Столбова С. Ю. Методы расчета и обоснование технологических допусков планового и вертикального положения конструкции при возведении одноэтажных производственных зданий // Вестник СибАДИ. № 6 (34). 2013. С. 57–62.
6. Столбов Ю. В., Столбова С. Ю. Назначение точности возведения строительных конструкций с учетом ответственности зданий и сооружений // Вестник СибАДИ. 2006. № 4. С. 134–137.
7. Столбов Ю. В. Статистические методы контроля качества строительно-монтажных работ. М.: Стройиздат, 1982. 86 с.
8. Данилов А. И. О классификации поперечных сечений стержневых элементов стальных конструкций по методике EN 1993 // Расчет и проектирование металлических конструкций. М.: Изд-во МИСИ-МГСУ, 2013. С. 67–72.
9. Столбов Ю. В., Столбова С. Ю., Хуторная О. Ю. Экономическое обоснование допусков на геодезические и строительно-монтажные работы при возведении зданий и сооружений // Землеустроительное и кадастровое обеспечение комплексного развития территории и недвижимости: сб. тр. Омск: ИПК Макшеевой Е. А., 2010. С. 131–135.

References

1. Avrom L. S. *Nadezhnost konstruksiy sbornykh zdaniy i sooruzheniy* [Reliability of structures of prefabricated buildings and structures]. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1971, 216 p.
2. Belyaev B. I. *O tochnosti izgotovleniya i montazha stalnykh konstruksiy* [On the accuracy of manufacturing and installation of steel structures]. *Promyshlennoe stroitelstvo – Industrial construction*, 1961, no. 4.
3. Gmurman V. E. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika* [The theory and mathematical statistics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1977, 479 p.
4. Vypshis A. P., Parasonis I. I., Klevtsov V. A. *Obespechenie tochnosti geometricheskikh parametrov montazha konstruksiy odnoetazhnykh karkasov promyshlennykh zdaniy* [Ensuring the accuracy of the geometric parameters of the installation of structures of single-storey frames for industrial buildings]. *Promyshlennoe stroitelstvo – Industrial construction*, 1988, no. 6, pp. 37–38.
5. Stolbova S. Yu. *Metody rascheta i obosnovanie tekhnologicheskikh dopuskov planovogo i vertikalnogo polozheniya konstruksii pri vozvedenii odnoetazhnykh proizvodstvennykh zdaniy* [Methods of calculation and substantiation of the technological tolerances, planned and vertical position of designs at erection of one-storey industrial building]. *Vestnik SiBADI – Bulletin of SibADI*, 2013, no. 6 (34), pp. 57–62.
6. Stolbov Yu. V., Stolbova S. Yu. *Naznachenie tochnosti vozvedeniya stroitelnykh konstruksiy s uchetom otvetstvennosti zdaniy i sooruzheniy* [Purpose of construction precision of building structures taking into account the responsibility of buildings and structures]. *Vestnik SiBADI – Bulletin of SibADI*, 2006, no. 4, pp. 134–137.
7. Stolbov Yu. V. *Statisticheskie metody kontrolya kachestva stroitelno-montazhnykh rabot* [Statistical methods of quality control of construction and installation works]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1982, 86 p.
8. Danilov A. I. *O klassifikatsii poperechnykh secheniy stержnevyykh ehlementov stalnykh konstruksiy po*

metodike EN 1993 [On classification of cross sections of rod elements of steel structures according to the EN 1993 method]. *Sb. trudov «Raschet i proektirovanie metallicheskih konstruktsiy»* [Coll. of works "Calculation and design of metal structures"]. Moscow, MISI-MGSU Publ., 2013, pp. 67–72.

9. Stolbov Yu. V., Stolbova S. Yu., Khutornaya O. Yu. *Ehkonomicheskoe obosnovanie dopuskov na geodezicheskie i stroitelno-montazhnye raboty pri vozvedenii zdaniy i*

sooruzheniy [Economic substantiation of admissions for geodesic and construction and installation works in the construction of buildings and structures]. *Zemleustroitelnoe i kadaстровое obespechenie kompleksnogo razvitiya territorii i nedvizhimosti* [Management and cadastral support of complex development of the territory and real estate]. Coll. of works. Omsk, IPK Maksheevoy E. A. Publ., 2010, pp. 131–135.