

doi: 10.5862/MCE.54.10

## Экспериментальное обоснование способа повышения комплексной технологичности стальной стержневой конструкции

*Аспирант А.Н. Ульшин,**Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет*

**Аннотация.** В статье проанализированы современные технологии и оборудование, используемые для изготовления и монтажа металлоконструкций, а также типы производимых конструкций. В результате определены дополнительные резервы повышения комплексной технологичности за счет подбора оптимального варианта геометрической формы конструкции, совершенствования отдельных частей конструкции, значений отдельных конструктивных параметров при определенной технологии изготовления и монтажа.

В основе гипотезы о совершенствовании конструктивно-технологического решения лежит комплекс оценки технологичности, который состоит из двух обобщенных показателей: технологичности и качества. Основным назначением этих показателей является оценка затрат всех ресурсов в технологических процессах изготовления и монтажа стальных конструкций, а также качества, приобретаемого в этих процессах. Комплекс оценки технологичности используется организациями, изготавливающими и монтирующими стальные конструкции, для оценки конструктивно-технологических решений и их совершенствования.

Задачи эксперимента: 1) дать обоснование методике определения комплексного показателя технологичности и предположениям, сделанным при формировании данной методики, (путем сравнения теоретических и фактических значений); 2) доказать, что совершенствование конструктивно-технологического решения приводит к увеличению комплексного показателя технологичности по сравнению с проектным вариантом. На основании проведенного эксперимента сделан вывод о том, что предложенный автором метод определения значений комплексных показателей технологичности отражает фактическое их значение с высокой точностью. Подтверждена гипотеза о том, что совершенствование конструктивно-технологического решения, выраженное в замене проектной конструкции или отдельной его части, позволяет получить больший комплексный показатель технологичности, чем для конструкций, заложенных в проекте.

**Ключевые слова:** стальные стержневые конструкции; комплексная технологичность; показатель технологичности

### Введение

Для оценки актуальности проблемы повышения технологичности стальных конструкций были проанализированы современные технологии и оборудование, используемые для изготовления и монтажа металлоконструкций, а также типы конструкций, производимых в различных странах. По данным маркетинговых исследований рынков металлоконструкций анализировался российский рынок производимых конструкций [1–2]. Современные технологии и оборудование для изготовления стальных конструкций описаны в научно-производственных журналах США [3–6]. Новые типы производимых конструкций представлены в журналах, издаваемых Английской ассоциацией стальных строительных конструкций [7–11].

В результате анализа публикаций автором были выявлены обстоятельства, которые и определили актуальность исследования:

- проектируемые конструкции часто оказываются нетехнологичными, так как при проектировании не могут быть учтены все параметры процессов изготовления и монтажа;
- значительное влияние на технологичность изготовления всей конструкции оказывает трудоемкость изготовления узлов металлоконструкций, а на технологичность монтажа – трудоемкость выполнения вспомогательных операций;
- необходимо снижение стоимости работ по изготовлению и монтажу стальных конструкций, а также уменьшение сроков их изготовления;
- проектирование металлоконструкций должно проводиться с учетом особенностей предприятий, изготавливающих и монтирующих эти конструкции, то есть важен системный подход.

Ульшин А.Н. Экспериментальное обоснование способа повышения комплексной технологичности стальной стержневой конструкции

## *Новый способ повышения технологичности на основе комплекса оценки технологичности*

Автором были проанализированы и распределены по группам существующие методы повышения комплексной технологичности строительных конструкций.

Группа №1. Исследования российских авторов по повышению комплексной технологичности, применяемые для стальных конструкций [12–15].

Группа №2. Исследования зарубежных авторов по повышению комплексной технологичности, применяемые для стальных конструкций [16–20].

Группа №3. Исследования российских авторов по повышению комплексной технологичности, применяемые в рамках отдельных частей одного типа стальных конструкций [21–23].

Группа №4. Исследования российских авторов по повышению комплексной технологичности, применяемые для не стальных конструкций (ж/б, алюминиевые) [24–26].

В таблице 1 приведено сравнение существующих способов повышения комплексной технологичности на трех стадиях производства. Оценка способов повышения комплексной технологичности производится с позиции интересов организации, изготавливающей и монтирующей стальные стержневые конструкции. Основным требованием здесь является высокая точность определения показателей технологичности. Для ее достижения в комплексный показатель должно включаться оптимальное количество параметров технологичности изготовления и монтажа и параметров конструкции с учетом различий в технологии.

**Таблица 1. Оценка влияния способа повышения комплексной технологичности на технологичность отдельных процессов производства стальных конструкций**

№ [ссылка]	Технологичность монтажа	Технологичность изготовления	Конструктивная технологичность
1 [12–20]	<p>Технологичность монтажа определяется одним параметром – трудоемкостью монтажа, получаемой двумя способами:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• по нормам ЕНиР;</li> <li>• по формуле зависимости от массы и длины.</li> </ul> <p>По нормам ЕНиР и формуле зависимости от массы и длины не учитываются различия в технологии монтажа конструкций, тем не менее, приблизительно значения трудоемкости монтажа могут быть близки к фактическим при рассмотрении конструкций до 12 м. В случае монтажа конструкций свыше 12 м значительное влияние оказывают операции укрупнения, которые зависят от параметра укрупняемого узла, используемых вспомогательных средств, что не может быть учтено ЕНиРом и формулой зависимости от массы и длины.</p>	<p>Технологичность изготовления определяется одним параметром – трудоемкостью изготовления, получаемой двумя способами:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• по нормам ЕНиР;</li> <li>• по формуле зависимости от массы и длины.</li> </ul> <p>Прогнозирование повышения технологичности изготовления возможно при одной устаревшей технологии изготовления на заводе. В случае изготовления по современной технологии или на монтажном участке изменение технологичности изготовления не прогнозируется.</p>	<p>Конструктивная технологичность повышается за счет вариантного проектирования схем здания (поиска оптимального шага колонн, пролета).</p>
2 [21]	<p>Влияния на показатель технологичности монтажа нет, так как изменение положения промежуточных узлов не влияет на трудоемкость монтажа.</p>	<p>Технологичность изготовления повышается при любых технологиях изготовления.</p> <p>Оптимизация изготовления частичная, так как повышение технологичности изготовления происходит за счет уменьшения трудоемкости лишь некоторых операций изготовления: сварки, резки пластин, за счет изменения</p>	<p>Конструктивная технологичность практически не меняется по причине того, что оптимизация происходит в рамках одной конструкции за счет изменения</p>

Ульшин А.Н. Экспериментальное обоснование способа повышения комплексной технологичности стальной стержневой конструкции

№ [ссылка]	Технологичность монтажа	Технологичность изготовления	Конструктивная технологичность
		углов между стержнями и, как следствие, изменения длины сварных швов и периметра пластин.	положения промежуточных узлов.
3 [22, 23]	Оптимизация технологичности монтажа частичная, так как уменьшение трудоемкости монтажа происходит только за счет трудоемкости операции постоянного закрепления, которая имеет одинаковые значения при любых технологиях.	Оптимизация технологичности изготовления частичная, так как повышение технологичности изготовления происходит только за счет уменьшения трудоемкости операций сварки и сборки которая имеет одинаковые значения при любых технологиях.	Конструктивная технологичность не меняется, так как рассматриваются одинаковые по форме конструкции, оптимизация идет внутри одного типа конструкций.
4 [24–26]	Технологичность монтажа не имеет в исследовании высокой значимости, данное обстоятельство никак не учитывает интересы монтирующей организации.	Технологичность изготовления не имеет в данном исследовании высокой значимости, это обстоятельство никак не учитывает интересы изготавливающей организации.	Применительно к стальным стержневым конструкциям конструктивная технологичность имеет первостепенное значение, эксплуатационную технологичность можно вообще не учитывать.

В ходе анализа существующих способов повышения комплексной технологичности была выявлена дополнительная возможность оптимизации технологичности изготовления и монтажа. Это совершенствование конструктивно-технологического решения в организации, изготавливающей и монтирующей данные конструкции (на стадии, когда известна технология изготовления и монтажа).

#### Выявленные оптимизационные задачи.

1. Подбор оптимального варианта геометрической формы происходит путем оценки параметров вариантных типов конструкций на основании их конструктивной технологичности, технологичности изготовления, технологичности монтажа и далее комплексной технологичности в условиях конкретной технологии изготовления и монтажа.

2. Оптимизация отдельных частей (узел, стержень) конструкции происходит за счет изменения параметров этих частей, имеющих наибольшее влияние на комплексную технологичность.

На основании выявленных возможностей оптимизации предлагается комплекс показателей для модели оптимизации (комплекс оценки технологичности), лежащий в основе нового метода совершенствования комплексной технологичности.

Комплекс оценки технологичности – комплекс из двух обобщенных показателей: технологичности и качества. Основным назначением этих показателей является оценка затрат всех ресурсов в технологических процессах изготовления и монтажа стальных конструкций, а также качества, приобретаемого в этих процессах. Данный комплекс используется организацией, изготавливающей и монтирующей стальные конструкции, для оценки конструктивно-технологических решений и их совершенствования.

Для четкого обозначения резервов оптимизации были систематизированы основные положения классического вариантного проектирования и совершенствования конструктивно-технологического решения с использованием комплекса оценки технологичности.

Прежде всего, введем понятие альтернативных конструкций. Альтернативные конструкции – конструкции, которые могут быть заменены друг на друга в условиях определенной нагрузки без потери несущей способности и величины полезного эффекта.

Ульшин А.Н. Экспериментальное обоснование способа повышения комплексной технологичности стальной стержневой конструкции

Конструкции считаются альтернативными, если они имеют равные:

$S, V$  – площадь или объем, обеспеченные несущей способностью конструкции,  $m^2, m^3$ ;

$L$  – длины конструкций, м;

$F$  – нагрузки на  $m^2$  площади покрытия или  $m^3$  объема, кН.

#### Классическое вариантное проектирование.

На стадии проекта определяется конструкция с максимальным значением  $K_k$  и качеством, регламентируемым СП 16.13330.2011:

$$K_{техн.п.} = f(\max K_k, K_u, K_m), \quad (1)$$

где  $K_{техн.п.}$  – показатель комплексной технологичности стальной конструкции;

$K_k$  – показатель технологичности конструирования, определяемый путем расчета по предельным состояниям согласно СП 16.13330.2011;

$K_u$  – показатель технологичности изготовления – не определяется, так как на стадии проектирования не известны условия изготовления;

$K_m$  – показатель технологичности монтажа – не определяется, так как на стадии проектирования не всегда известны все условия монтажа.

$$K_{кач} = f(K_{над.по.нагр}, K_{функц.}), \quad (2)$$

где  $K_{кач}$  – прогнозируемый комплексный показатель качества стальной конструкции;

$K_{над.по.нагр}$  – показатель надежности по нагрузке, значения регламентируются при помощи коэффициентов надежности по нагрузке СП 16.13330.2011;

$K_{функц.}$  – показатель функционального качества, значения регламентируются расчетом по предельным состояниям в соответствии с СП 16.13330.2011.

#### Совершенствование конструктивно-технологического решения с использованием комплекса оценки технологичности

На стадии получения проекта организацией изготовления и монтажа определяются альтернативные конструкции с близкими значениями  $K_k$  (относительно проектных) и максимальными значениями  $K_u, K_m$  и качеством, большим или равным тому, что регламентировано СП 16.13330.2011:

$$K_{техн.п.} = f(\approx \max K_k, \max K_u, \max K_m). \quad (3)$$

Здесь  $\approx \max K_k$  – величина, приближенно равная максимальному проектному значению конструктивной технологичности для альтернативных конструкций;

$K_k$  – показатель технологичности конструирования, определяемый на основании уравнений регрессии в зависимости от типа альтернативных конструкций и параметров расчетной схемы без расчета по несущей способности;

$K_u$  – показатель технологичности изготовления, определяемый на основании уравнений регрессии в зависимости от типа технологии изготовления и параметров конструкции;

$K_m$  – показатель технологичности монтажа, определяемый на основании уравнений регрессии в зависимости от типа технологии монтажа и параметров конструкции.

$$K_{кач} = f(K_{над.по.нагр}, K_{функц.}, K_{изг}, K_{монт}), \quad (4)$$

где  $K_{изг}$  – прогнозируемый комплексный показатель качества изготовления, зависит от точности технологии производства (оборудование);

$K_{монт}$  – прогнозируемый комплексный показатель качества монтажа, зависит от точности технологии выверки при монтаже.

Ульшин А.Н. Экспериментальное обоснование способа повышения комплексной технологичности стальной стержневой конструкции

За счет того, что становится известна технология изготовления и монтажа, появляется возможность более точного вычисления показателей качества и технологичности изготовления и монтажа стальной стержневой конструкции. Для получения точных значений показателей технологичности изготовления и монтажа необходимо разработать уравнения регрессии основных параметров технологичности (трудоемкости изготовления, трудоемкости монтажа) при различных технологиях изготовления и монтажа в зависимости от параметров конструкции.

Используя данные исследований о возможностях оптимизации и ее механизмах, можно сформулировать следующую гипотезу: совершенствование конструктивно-технологического решения стальных стержневых конструкций путем подбора оптимального варианта геометрической формы конструкции при определенной технологии изготовления и монтажа позволяет увеличить комплексную технологичность по сравнению с проектным вариантным проектированием.

Для подтверждения данной гипотезы поставлен эксперимент по применению комплекса оценки технологичности для альтернативных конструкций, монтируемых одним и тем же методом в одних и тех же условиях изготовления. Эксперимент должен доказать возможность повышения технологичности путем решения выявленных оптимизационных задач и подтвердить адекватность отражения значений отдельных показателей технологичности изготовления и монтажа по сравнению с фактическими.

### **Постановка задач экспериментального исследования**

Комплексный показатель технологичности, предложенный в исследовании [27]:

$$K = \alpha_n \times K_k + \beta_n \times K_u + \gamma_n \times K_m + \lambda_n \times K_{mp}, \quad (5)$$

где  $K$  – комплексный показатель оценки технологичности: конструирования, изготовления, транспортировки и монтажа стальных стержневых конструкций;

$\alpha_n, \beta_n, \gamma_n, \lambda_n$  – долевые коэффициенты, метод определения описан в [27];

$K_k, K_u, K_m, K_{mp}$  – показатели технологичности, определены на основании уравнений регрессии в исследованиях [28–30].

#### **Необходимые условия эксперимента:**

- сравниваемые стальные стержневые конструкции должны находиться в одних и тех же технологических условиях при изготовлении и монтаже;
- сравниваемые конструкции должны иметь одну и ту же  $S$  или  $V$ , исходя из определения технологичности конструкции изделия, где  $S$  – эксплуатируемая часть площади здания, обеспеченная несущей конструкцией,  $m^2$ ;  $V$  – эксплуатируемый объем, обеспеченный несущей конструкцией,  $m^3$ ;
- сравниваемые конструкции должны воспринимать одну и ту же нагрузку.

Конструкции, удовлетворяющие этим условиям, будем считать альтернативными.

#### **Задачи эксперимента.**

1. В ходе эксперимента необходимо дать обоснование методике определения комплексного показателя технологичности и предположениям, сделанным при формировании данной методики, путем сравнения теоретических и фактических значений. Выразим это в следующем равенстве для всех типов альтернативных конструкций:

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{K_2}{K_1}, \quad (6)$$

где  $C_1$  – себестоимость изготовления, транспортировки и монтажа стальной стержневой конструкции №1;

$K_1$  – комплексный показатель технологичности изготовления, транспортировки и монтажа стальной стержневой конструкции №1;

$C_2$  – себестоимость изготовления, транспортировки и монтажа стальной стержневой конструкции №2;

Ульшин А.Н. Экспериментальное обоснование способа повышения комплексной технологичности стальной стержневой конструкции

$K_2$  – комплексный показатель технологичности изготовления, транспортировки и монтажа стальной стержневой конструкции №2.

В этом случае формула для определения комплексного показателя технологичности  $K$  справедлива для всех типов конструкций.

Отношение  $\frac{C_1}{C_2}$  отражает некоторую степень совершенства в эффективности расхода ресурсов (в изготовлении, транспортировке, монтаже) одной конструкции по сравнению с другой.

Отношение  $\frac{K_2}{K_1}$  должно также отражать некую степень совершенства в эффективности расхода ресурсов (в изготовлении, транспортировке, монтаже) одной конструкции по сравнению с другой.

Эта степень совершенства должна быть одинакова для всех возможных комплексных показателей технологичности, так как отношения  $\frac{K_2}{K_1}$ ,  $\frac{C_1}{C_2}$  выражают перерасход или экономичность расхода основных ресурсов конструкции №1 по сравнению с конструкцией №2 в относительной форме.

Проверим данное равенство в условиях конкретного производства на различных повторяющихся в одном заказе типовых стальных стержневых конструкциях на пролетах 3, 6, 9, 12, 15, 18 м. Под повторяющимися в одном заказе типовыми конструкциями подразумеваются стальные стержневые конструкции с одинаковыми стержнями (тип проката, длина) и различными вспомогательными элементами (узлами).

2. В ходе эксперимента необходимо доказать, что совершенствование конструктивно-технологического решения приводит к увеличению комплексного показателя технологичности по сравнению с проектным вариантом.

Для доказательства данного обстоятельства необходимо построить графики зависимостей комплексных показателей технологичности альтернативных конструкций от длины и масс альтернативных конструкций от длины. На данных графиках будут показаны участки, на которых конструкции с большей массой имеют больший комплексный показатель технологичности. Этот факт и означает увеличение комплексного показателя технологичности по сравнению с проектным вариантом, выбираемым только по массе.

### *Описание экспериментального исследования*

Последовательность проведения эксперимента.

I Этап. Получение исходных данных, необходимых для расчета себестоимости, путем экономического анализа в конкретной организации, изготавливающей и монтирующей стальные конструкции.

II Этап. Определение параметров технологичности изготовления и монтажа на тонну для различных типов конструкций на конкретном заводе.

III Этап. Определение себестоимости и комплексного показателя технологичности изготовления альтернативных конструкций при различных длинах.

IV Этап. Определение себестоимости и комплексного показателя технологичности монтажа альтернативных конструкций при различных длинах и высотах здания.

V Этап. Определение себестоимости и комплексного показателя технологичности изготовления и монтажа альтернативных конструкций при различных длинах.

VI Этап. Заключение о зависимостях между  $C$  и  $K$  и равенстве  $\frac{C_1}{C_2} = \frac{K_2}{K_1}$  на примере стоечных и пролетных альтернативных конструкций.

Ульшин А.Н. Экспериментальное обоснование способа повышения комплексной технологичности стальной стержневой конструкции

VII Этап. Подтверждение гипотезы об увеличении комплексного показателя технологичности при совершенствовании конструктивно-технологического решения по сравнению с проектным вариантом конструкции.

По результатам этапов III–V построены графики зависимостей показателей технологичности (изготовление – рис. 1, 2; монтаж – рис. 3, 4; комплексная технологичность – рис. 5, 6) от длины для нескольких типов альтернативных конструкций.

### Графики комплексного показателя технологичности конструирования и изготовления, себестоимости материала и изготовления для альтернативных конструкций

На рисунке 1 приведен график (комплексный показатель технологичности конструирования и изготовления и себестоимость материала и изготовления) для альтернативных конструкций:

- прокатные балки;
- фермы из гнутосварной трубы.

Использованы следующие обозначения:

$\sum_{i=1}^n (C_{mat.i} \times M_i)_1$  – график стоимости проката для балок 14Б1-80Б1 по СТО АСЧМ 20-93;

$\sum_{i=1}^n (C_{mat.i} \times M_i)_2$  – график стоимости проката для ферм из гнутосварной трубы;

$C_1^u, K_1^u$  – график себестоимости материала и изготовления и комплексного показателя технологичности конструирования и изготовления для прокатных балок;

$C_2^u, K_2^u$  – график себестоимости материала и изготовления и комплексного показателя технологичности конструирования и изготовления для ферм из гнутосварной трубы.

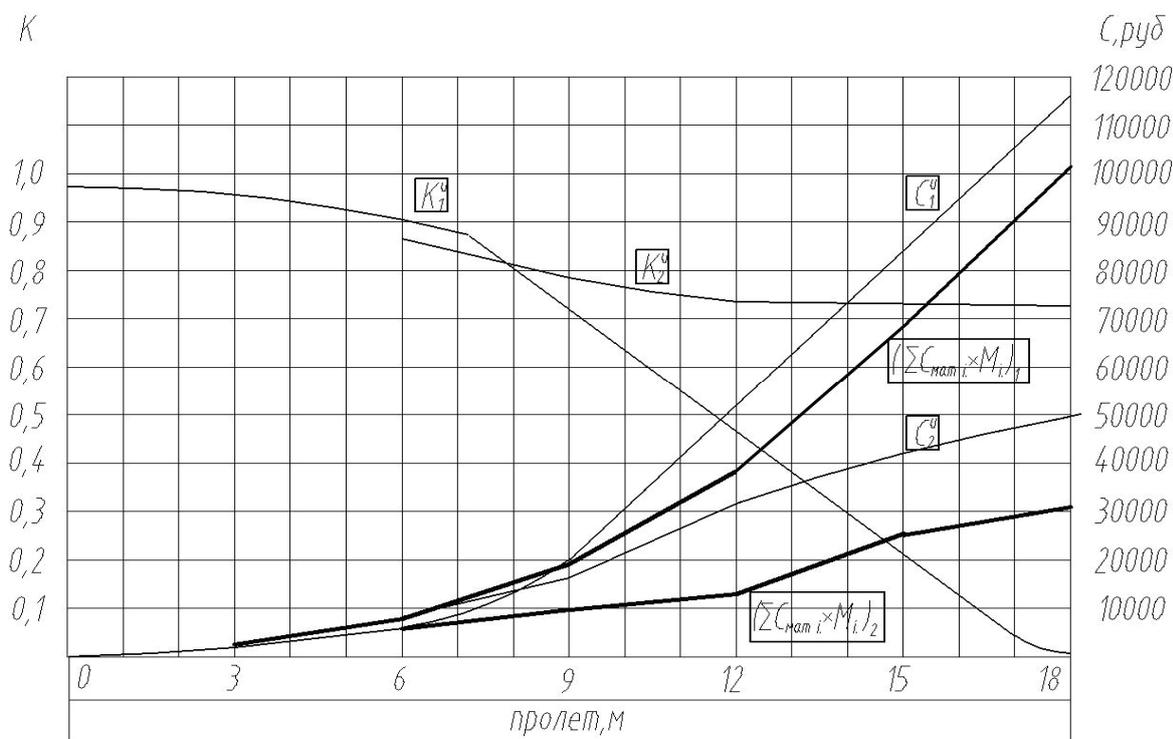


Рисунок 1. Зависимость комплексного показателя технологичности конструирования и изготовления (K) и себестоимости материала и изготовления (C) от длины конструкции

На рисунке 2 приведен график (комплексный показатель технологичности конструирования и изготовления и себестоимость материала и изготовления) для альтернативных конструкций:

- сплошные колонны;
- составные сечения колонн из двух швеллеров.

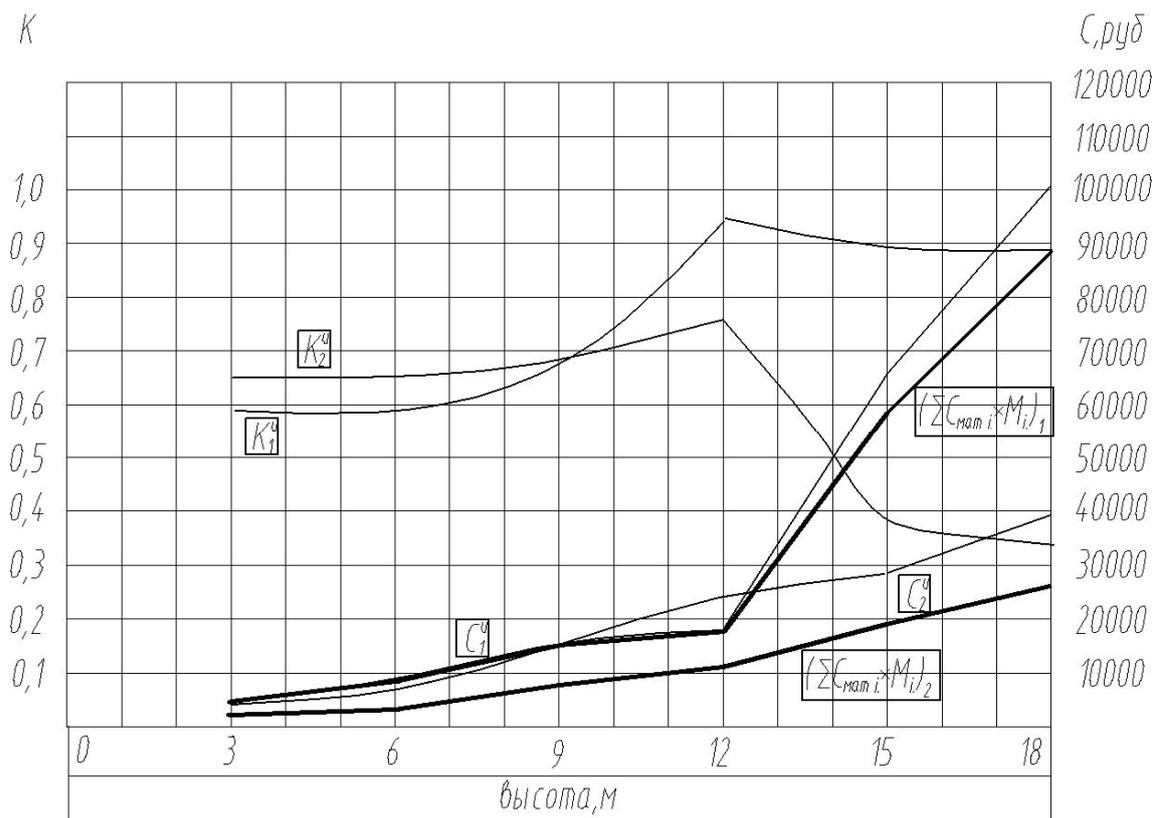
Использованы следующие обозначения:

$\sum_{i=1}^n (C_{mat.i} \times M_i)_1$  – график стоимости проката колонн 20 К1-40К1 по СТО АСЧМ 20-93.

$\sum_{i=1}^n (C_{mat.i} \times M_i)_2$  – график стоимости проката для составных сечений колонн из двух швеллеров;

$K_1^u, K_1^u$  – график себестоимости материала и изготовления и комплексного показателя технологичности конструирования и изготовления для колонн;

$K_2^u, K_2^u$  – график себестоимости материала и изготовления и комплексного показателя технологичности конструирования и изготовления для составных сечений колонн из двух швеллеров.



**Рисунок 2. Зависимость показателя комплексного технологичности конструирования и изготовления (K) и себестоимости материала и изготовления (C) от длины конструкции**

В результате анализа графиков, представленных на рисунках 1, 2, сделаны следующие выводы:

- повышение технологичности изготовления стальной стержневой конструкции способно значительно повлиять на комплексный показатель технологичности;
- степенная форма зависимости для параметров технологичности полностью подтверждается.

Ульшин А.Н. Экспериментальное обоснование способа повышения комплексной технологичности стальной стержневой конструкции

### Графики показателя технологичности монтажа и себестоимости монтажа для альтернативных конструкций

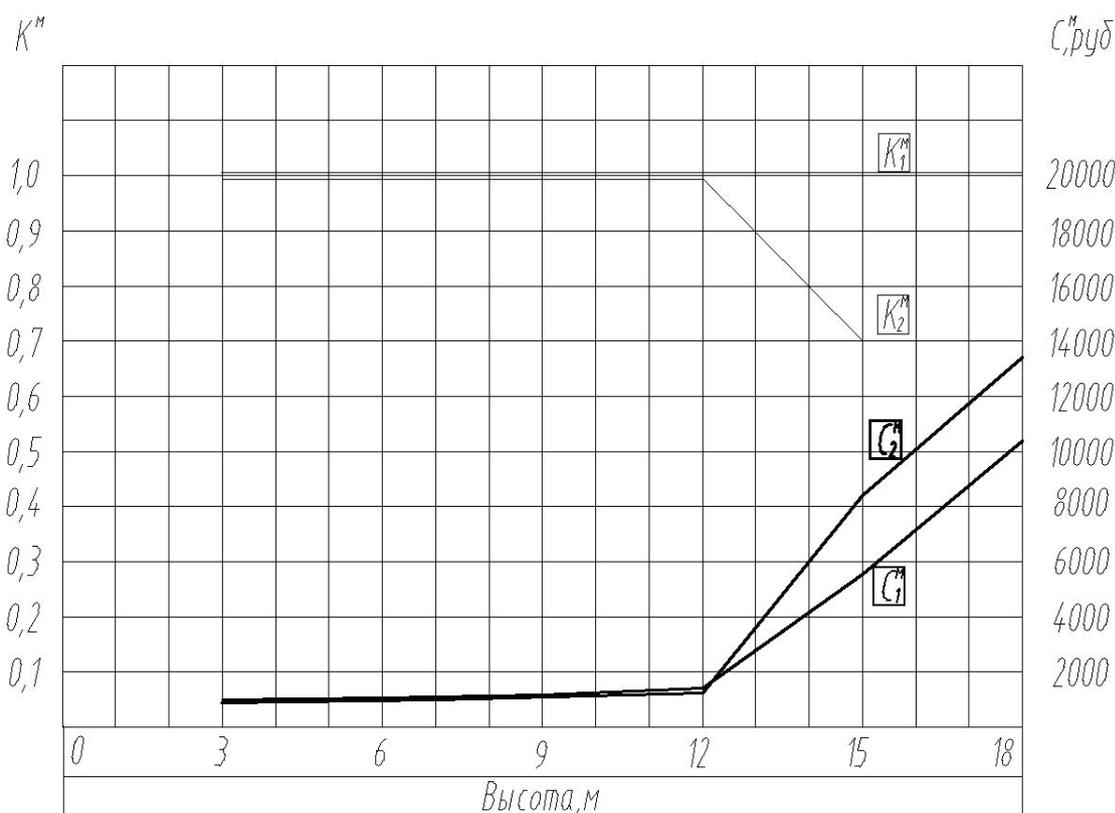
На рисунке 3 приведен график для альтернативных стоечных конструкций:

- сплошные колонны;
- составные сечения колонн.

Использованы следующие обозначения:

$C_1^u, K_1^u$  – график себестоимости монтажа и показателя технологичности монтажа для колонн 20 К1-40К1 по СТО АСЧМ 20-93;

$C_2^u, K_2^u$  – график себестоимости монтажа и показателя технологичности монтажа для составных сечений колонн из двух швеллеров 12 П-22 П по ГОСТ 8240-97.



**Рисунок 3. Зависимость комплексного показателя технологичности монтажа (K) и себестоимости монтажа (C) от высоты колонн**

На основе графика (рис. 3) было установлено, что в случае поэлементного свободного кранового монтажа будут верны следующие положения.

1. При сравнении альтернативных стоечных стальных стержневых конструкций до 12 м себестоимость их монтажа близка друг к другу, а значит, технологичность монтажа также одинакова и не оказывает негативного влияния на общую технологичность. Это связано с близкими трудоемкостями операций подготовки монтажа и монтажных операций. Себестоимости монтажа конструкций близки друг к другу и не могут значительно изменить разницу в полных себестоимостях изготовления, транспортировки и монтажа данных альтернативных стальных стержневых конструкций.

2. На пролетах 12–18 м разница в себестоимости монтажа стоечных конструкций оказывает незначительное влияние на общую себестоимость изготовления, транспортировки и монтажа. Учитывая, что себестоимость монтажа составных колонн больше, чем себестоимость монтажа сплошных колонн, данное обстоятельство может изменить соотношение общих себестоимостей изготовления, транспортировки и монтажа для альтернативных конструкций.

Ульшин А.Н. Экспериментальное обоснование способа повышения комплексной технологичности стальной стержневой конструкции

На рисунке 4 приведен график для альтернативных пролетных конструкций:

- балки сплошные, перфорированные, гофрированные;
- составные сечения ферм из гнutosварной трубы.

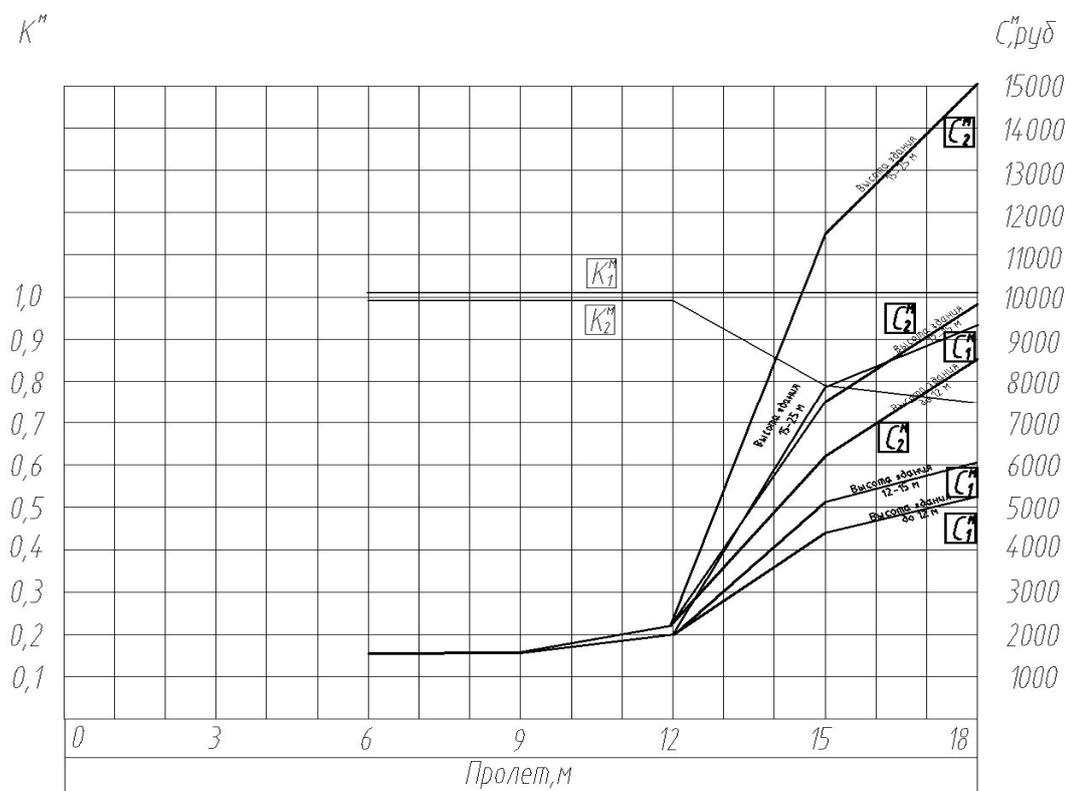
На графике построены три кривые себестоимости для сплошных сечений и три – для составных, а именно:

- для зданий высотой до 12 м;
- для зданий высотой 12–15 м;
- для зданий высотой до 25 м.

Использованы следующие обозначения:

$C_1^u, K_1^u$  – график себестоимости монтажа и показателя технологичности монтажа для балок сплошных, перфорированных, гофрированных;

$C_2^u, K_2^u$  – график себестоимости монтажа и показателя технологичности монтажа для ферм из гнutosварной трубы.



**Рисунок 4. Зависимость комплексного показателя технологичности монтажа (K) и себестоимости монтажа (C) от длины пролетных конструкций**

На основе графика (рис. 4) установлено, что в случае поэлементного свободного кранового монтажа методом наращивания будут верны следующие положения.

1. При сравнении альтернативных пролетных стальных стержневых конструкций до 12 м себестоимость их монтажа близка друг к другу, значит, технологичность монтажа также одинакова и не оказывает негативного влияния на общую технологичность. Это связано с близкими трудоемкостями операций подготовки монтажа и монтажных операций. Себестоимости монтажа конструкций близки друг к другу и не могут значительно изменить разницу в полных себестоимостях изготовления, транспортировки и монтажа данных конструкций.

2. При высоте здания 12–18 м стоимость монтажа фермы оказывается значительно больше стоимости монтажа балки, а значит, может оказать влияние на полную себестоимость изготовления, транспортировки и монтажа.

Ульшин А.Н. Экспериментальное обоснование способа повышения комплексной технологичности стальной стержневой конструкции

Зависимости между  $C$  и  $K$  и равенство  $\frac{C_1}{C_2} = \frac{K_2}{K_1}$  на примере стоечных и пролетных альтернативных конструкций

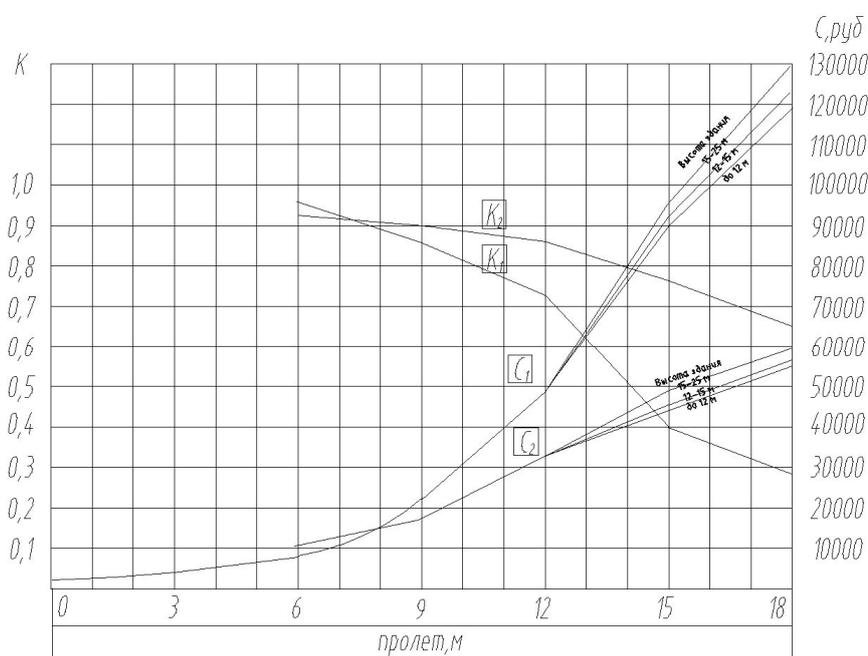
На рисунке 5 приведены графики комплексной технологичности: конструирования, изготовления и монтажа – для альтернативных конструкций:

- прокатные сплошные балки;
- ферма из гнutosварной трубы.

Приняты следующие обозначения:

$C_1^u, K_1^u$  – график полной себестоимости и комплексного показателя технологичности для балок сплошных 14Б1-80Б1 по СТО АСЧМ 20-93;

$C_2^u, K_2^u$  – график полной себестоимости и комплексного показателя технологичности для ферм из гнutosварной трубы.



**Рисунок 5. Зависимость комплексного показателя технологичности (K) и полной себестоимости (C) от длины пролетных конструкций**

На рисунке 5 построены три кривые себестоимости для балки и три – для фермы, а именно:

- для зданий высотой до 12 м;
- для зданий высотой 12–15 м;
- для зданий высотой 15–25 м.

В результате анализа графика на рисунке 5 сделаны следующие выводы:

- на пролетах до 12 м определяющим параметром в составе комплексного показателя технологичности изготовления, транспортировки и монтажа является технологичность изготовления стальной стержневой конструкции;
- на пролетах 12–15 м определяющими параметрами в составе комплексного показателя технологичности являются технологичность монтажа и технологичность изготовления стальной стержневой конструкции при любых высотах здания;
- при пролетах свыше 15 м расчет комплексного показателя технологичности не требуется, так как применим только один тип конструкции – фермы, и повышение технологичности возможно лишь путем совершенствования технологичности данной конструкции, а именно изменения типа узлов или типа проката стержней конструкции.

Ульшин А.Н. Экспериментальное обоснование способа повышения комплексной технологичности стальной стержневой конструкции

Для обоснования получаемых значений комплексного показателя технологичности проведем сравнение  $K_1, K_2$  и  $C_1, C_2$  для пары конструкций ферма – балка на конкретных пролетах (см. табл. 2).

Сравнив себестоимость и комплексный показатель технологичности для пролетных конструкций, можно сделать вывод о подтверждении теоретически выведенного комплексного показателя оценки технологичности через фактическую себестоимость.

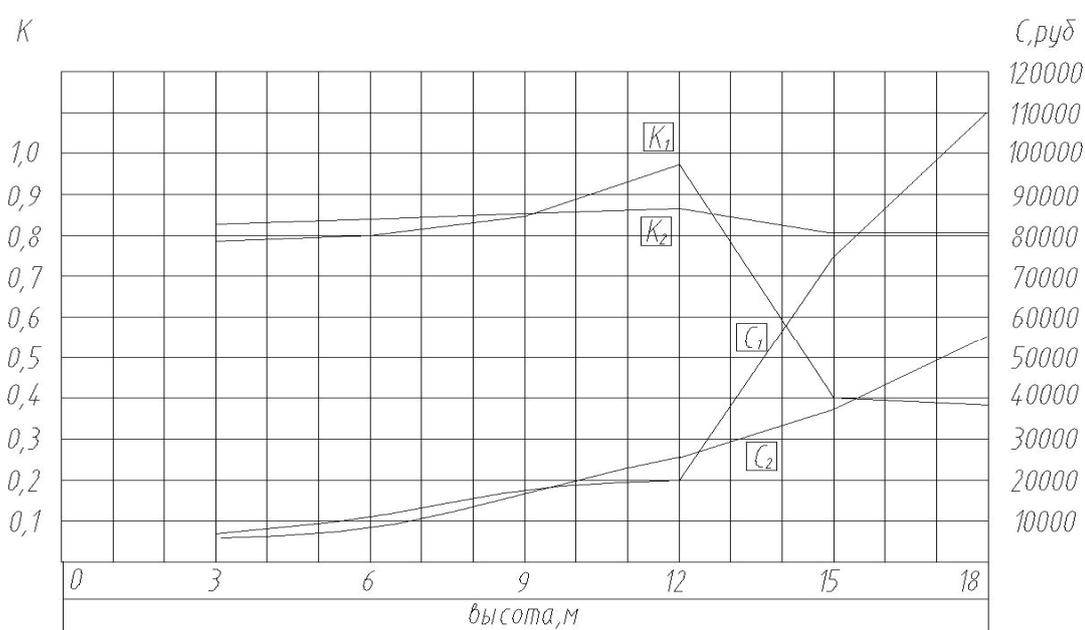
На рисунке 6 приведен график для альтернативных конструкций:

- сплошные колонны;
- составные сечения колонн из двух швеллеров.

Использованы следующие обозначения:

$C_1^u, K_1^u$  – график полной себестоимости и комплексного показателя технологичности для колонн сплошных 20 К1-40К1 по СТО АСЧМ 20-93;

$C_2^u, K_2^u$  – график полной себестоимости и комплексного показателя технологичности для составных сечений колонн из двух швеллеров по ГОСТ 8240-97.



**Рисунок 6. Зависимость комплексного показателя технологичности (К) и полной себестоимости (С) от высоты колонны**

На основе графика (рис. 6) автором сделаны следующие выводы:

- при высотах до 12 м определяющим параметром в составе комплексного показателя оценки технологичности изготовления, транспортировки и монтажа является технологичность изготовления стальной стержневой конструкции;
- при высотах 12–15 м определяющими параметрами в составе комплексного показателя технологичности являются технологичность монтажа и технологичность изготовления стальной стержневой конструкции при любых высотах здания;
- при высотах свыше 15 м расчет комплексного показателя технологичности не требуется, так как применим только один тип конструкции – колонны составного сечения, и повышение технологичности возможно лишь путем совершенствования технологичности данной конструкции, а именно изменения типа узлов или типа проката стержневой конструкции.

Для обоснования получаемых значений комплексного показателя технологичности проведем сравнение  $K_2$  и  $C_2$  на конкретных пролетах для пары конструкций сплошная колонна – решетчатая колонна (см. табл. 2).

Сравнив себестоимость и комплексный показатель технологичности для стоечных конструкций, можно сделать вывод о подтверждении теоретически выведенного комплексного показателя оценки технологичности через фактическую себестоимость.

Сводная таблица определения комплексных показателей оценки технологичности и себестоимости для альтернативных пролетных и стоечных конструкций представлена ниже.

**Таблица 2. Результат эксперимента сравнения полных себестоимостей и комплексных показателей оценки технологичности конструирования, изготовления, транспортировки и монтажа конструкций**

Номер сравнения	$C_1$	$C_2$	$K_1$	$K_2$	$\frac{C_1}{C_2}$	$\frac{K_2}{K_1}$	Соблюдение равенства отношений
1	20961	17579	0,84	0,89	1,19	1,06	да
2	49246	33210	0,74	0,86	1,48	1,16	да
3	91542	49264	0,4	0,76	1,86	1,9	да
4	133848	56688	0,28	0,65	2,36	2,36	да
5	5947	5377	0,79	0,83	1,11	1,05	да
6	10973	9833	0,8	0,84	1,12	1,05	да
7	15999	16292	0,84	0,85	0,98	1,04	да
8	21200	24756	0,97	0,87	0,86	0,89	да
9	72098	336566	0,4	0,8	1,97	1,97	да
10	110521	53159	0,38	0,8	2,08	2,08	да

Исходя из проведенных экспериментов, можно сделать вывод, что формула для определения основного комплексного показателя оценки технологичности, выведенная автором, может быть использована для оценки технологичности стальных стержневых конструкций.

### Заключение

На основании проведенного эксперимента сделаны следующие выводы.

1. Характер зависимости в предложенных уравнениях регрессии определения трудоемкости изготовления стальных стержневых конструкций подтверждается характером зависимостей из графиков показателей технологичности изготовления (рис. 1, 2), построенных по экспериментальным данным.

2. Характер зависимости в предложенных уравнениях регрессии определения трудоемкости монтажа стальных стержневых конструкций подтверждается характером зависимостей из графиков показателей технологичности монтажа (рис. 3, 4), построенных по экспериментальным данным.

3. Предложенный автором метод определения значений комплексных показателей технологичности (5) отражает их фактическое значение с высокой точностью.

4. Подтверждено, что совершенствование конструктивно-технологического решения, выраженное в замене проектной конструкции или отдельной его части, позволяет получить больший комплексный показатель технологичности, чем для конструкций, заложенных в проекте.

**Литература**

1. Рынок строительных металлоконструкций. Маркетинговое исследование / IndexBox. М., 2013. 176 с.
2. Шиповских И.Ю., Иванченко И.Г. Исследование рынка строительных металлоконструкций // Стройпрофиль. 2008. №2(40). С. 9–12.
3. Modern Steel Construction / American institute of steel construction. Chicago, May 2002. 32 p.
4. Modern Steel Construction / American institute of steel construction. Chicago, January 2004. 34 p.
5. Modern Steel Construction / American institute of steel construction. Chicago, April 2005. 25 p.
6. Modern Steel Construction / American institute of steel construction. Chicago, November 2006. 11 p.
7. Pfeiffer E, Kern A. Modern production of heavy plates for construction applications – controlling production processes and quality // Steel Construction. 2014. Vol. 7.No. 2. Pp. 147–153.
8. Bedair O. Modern steel design and construction in Canada's oil sands industry // Steel Construction. 2014. Vol. 7. No. 1. Pp. 32–40.
9. New Steel Construction / British Constructional Steelwork Association. Vol. 23 (№2), 2015.
10. New Steel Construction / British Constructional Steelwork Association. Vol. 20 (№11), 2014.
11. Azimi R., Abourizk S.M., Alvanchi A., Lee S. A framework for an automated and integrated project monitoring and control system for steel fabrication projects // Automation in Construction. 2011. Vol. 20. No. 1. Pp. 88–97.
12. Коклюгина Л. А. Оценка и выбор конструктивного решения металлических конструкций для реализации инвестиционного проекта. Дисс... канд.техн.наук. Казань, 2000. 125 с.
13. Кузнецов И.Л., Салахутдинов М.А., Гимранов Л.Р. Новые конструктивные решения стальных каркасов легких многопролетных зданий // Известия КГАСУ. 2011. № 1(15). С. 88–92.
14. Салахутдинов М.А., Кузнецов И.Л. Оптимизация параметров нового конструктивного решения стального каркаса многопролетного здания // Известия КГАСУ. 2012. №2(20). С. 94–98.
15. Кузнецов И.Л., Салахутдинов М.А., Гимранов Л.Р. Новые конструктивные решения стальных каркасов легких многопролетных зданий // Известия КГАСУ. 2011. № 1(15). С. 88–92.
16. Bijlaard F. High strength still in building and civil engineering structures: design of connections Coelho A.M.G. // Advances in Structural Engineering. 2010. Vol. 13. No. 3. Pp. 413–429.
17. Dong S.L., Zhao Y. The application and development of pretensioned long-span steel space structures in China // Advances in Steel Structures (ICASS '02). Proceedings of the Third International Conference on Advances in Steel Structures 9–11 December 2002, Hong Kong, China. 2002. Pp. 15–26.
18. Aveni M. Steel connector could reduce assembly time // Civil Engineering. 2001. Vol. 71. No. 10. Pp. 24.
19. Abspoel R., Bijlaard F. Optimization of plate girders // Steel construction. 2014. Vol. 7. No. 2. Pp. 116–125.
20. Nozhova E. Between geometry and craft: the setting-out of the NiGRES Tower // Steel Construction. 2014. Vol. 7. No. 1. Pp. 48–55.
21. Алексейцев А.В. Эволюционная оптимизация стальных ферм с учетом узловых соединений стержней // Инженерно-строительный журнал. 2013. №5. С. 28–37.
22. Исаев А.В., Кузнецов И.Л. Вариантность критериев оптимальности при синтезе рационального конструктивного решения на примере стропильных ферм // Известия КазГАСУ. 2009. №1(11). С. 92–98.
23. Еремеев П.Г. Научно-техническое сопровождение при проектировании, изготовлении и монтаже металлоконструкций // Монтажные и специальные работы в строительстве. 2007. №3. С. 28–42.
24. Шаленный В.Т., Папирный Р.Б. Повышение технологичности проектных решений монолитных и сборно-монолитных зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2010. №2. С.19–21.
25. Рябов С.А., Лугачева Н.А. Технологичность конструкций. Кемерово: КузГТУ, 2006. 65 с.
26. Колганов И.М., Дубровский П.В., Архипов А.Н. Технологичность авиационных конструкций, пути повышения. Ульяновск: УоГТУ, 2003. 20 с.
27. Ульшин А.Н. Методика определения обобщенного показателя технологичности конструирования, изготовления, транспортировки и монтажа стальной стержневой конструкции // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. №2-1(33). С. 95–98.

*Алексей Николаевич Ульшин, Санкт-Петербург, Россия  
Тел. моб.: +7(981)725-45-99; эл. почта: lesha.ul@mail.ru*

© Ульшин А.Н., 2015

Ульшин А.Н. Экспериментальное обоснование способа повышения комплексной технологичности стальной стержневой конструкции

doi: 10.5862/MCE.54.10

## Experimental justification of a way to increase complex technological effectiveness of steel rod structure

**A.N. Ulshin**

*St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg, Russia  
+79817254599; e-mail: lesha.ul@mail.ru*

### Key words

complex technological effectiveness; steel rod structure; indicator of technological effectiveness

### Abstract

The author analyses modern technologies and equipment used for producing and installing metalwork and also some types of structures. Therefore, additional reserves of increase in technological effectiveness were due to the selection of the optimal geometrical form, improvement of separate parts of the structure, values of separate design data for certain manufacturing technology.

The complex indicator of technological effectiveness should be used by organizations involved in production and installation of metalwork for increasing complex technological effectiveness in comparison with the project variable design.

Issues of the experiment were: 1) to give justification of a technique to define a complex indicator of technological effectiveness and the assumptions made when developing this technique; this can be achieved by comparison of theoretical and actual values; 2) to confirm that an improved constructive and technological solution results in the increase of the complex indicator of technological effectiveness in comparison with the design option.

### References

1. *Rynok stroitelnykh metallokonstruktsiy. Marketingovoye issledovaniye* [Metalwork. Review (analysis) of the market]. Moscow: IndexBox, 2013. 176 p. (rus)
2. Shipovskikh I.Yu., Ivanchenko I.G. *Issledovaniye rynka stroitelnykh metallokonstruktsiy* [Research of the market of a construction metalwork]. *Stroyprofil*. 2008. No. 2(40). Pp. 9–12. (rus)
3. *Modern Steel Construction*. American institute of steel construction. Chicago, May 2002. 32 p.
4. *Modern Steel Construction*. American institute of steel construction. Chicago, January 2004. 34 p.
5. *Modern Steel Construction*. American institute of steel construction. Chicago, April 2005. 25 p.
6. *Modern Steel Construction*. American institute of steel construction. Chicago, November 2006. 11 p.
7. Pfeiffer E., Kern A. Modern production of heavy plates for construction applications – controlling production processes and quality. *Steel Construction*. 2014. Vol. 7. No. 2. Pp. 147–153.
8. Bedair O. Modern steel design and construction in Canada's oil sands industry. *Steel Construction*. 2014. Vol. 7. No. 1. Pp. 32–40.
9. *New Steel Construction*. British Constructional Steelwork Association. Vol. 23 (№2), 2015.
10. *New Steel Construction*. British Constructional Steelwork Association. Vol. 20 (№11), 2014.
11. Azimi R., Abourizk S.M., Alvanchi A., Lee S. A framework for an automated and integrated project monitoring and control system for steel fabrication projects. *Automation in Construction*. 2011. Vol. 20. No. 1. Pp. 88–97.
12. Koklyugina L.A. *Otsenka i vybor konstruktivnogo resheniya metallicheskih konstruktsiy dlya realizatsii investitsionnogo proyekta* [Assessment and choice of the constructive solution of metal designs for implementation of the investment project]. PhD thesis. Kazan, 2000. 125 p. (rus)
13. Kuznetsov I.L., Salakhutdinov M.A., Gimranov L.R. *Novyye konstruktivnyye resheniya stalnykh karkasov legkikh mnogoproletnykh zdaniy* [New designs of lightweight multi-span steel-framed buildings]. *News of KSUAE*. 2011. No. 1(15). Pp. 88–92. (rus)
14. Salakhutdinov M.A., Kuznetsov I.L. *Optimizatsiya parametrov novogo konstruktivnogo resheniya stalnogo karkasa mnogoproletnogo zdaniya* [Optimization of parameters of the new constructive solution of a steel framework of the multiflying building]. *News of KSUAE*. 2012. No. 2(20). Pp. 94–98. (rus)

Ulshin A.N. Experimental justification of a way to increase complex technological effectiveness of steel rod structure

15. Kuznetsov I.L., Salakhutdinov M.A., Gimranov L.R. Novyye konstruktivnyye resheniya stalnykh karkasov legkikh mnogoproletnykh zdaniy [New constructive solutions of steel frameworks of easy multiflying buildings]. *News of KSUAE*. 2011. No. 1(15). Pp. 88–92. (rus)
16. Bijlaard F. High strength still in building and civil engineering structures: design of connections Coelho A.M.G. *Advances in Structural Engineering*. 2010. Vol. 13. No. 3. Pp. 413–429.
17. Dong S.L., Zhao Y. The application and development of pretensioned long-span steel space structures in China. *Advances in Steel Structures (ICASS '02). Proceedings of the Third International Conference on Advances in Steel Structures 9–11 December 2002*, Hong Kong, China. 2002. Pp. 15–26.
18. Aveni M. Steel connector could reduce assembly time. *Civil Engineering*. 2001. Vol. 71. No. 10. Pp. 24.
19. Abspoel R., Bijlaard F. Optimization of plate girders. *Steel construction*. 2014. Vol. 7. No. 2. Pp. 116–125.
20. Nozhova E. Between geometry and craft: the setting-out of the NiGRES Tower. *Steel Sonstruction*. 2014. Vol. 7. No. 1. Pp. 48–55.
21. Alekseytsev A.V. Evolyutsionnaya optimizatsiya stalnykh ferm s uchetom uzlovykh soyedineniy sterzhney [Evolutionary optimization of steel trusses with the nodal joints of rods]. *Magazine of Civil Engineering*. 2013. No. 5. Pp. 28–37. (rus)
22. Isayev A.V., Kuznetsov I.L. Variantnost kriteriyev optimalnosti pri sinteze ratsionalnogo konstruktivnogo resheniya na primere stropilnykh ferm [Alternativeness of criteria of an optimality at synthesis of the rational constructive decision on the example of rafter farms]. *Izvestiya KazGASU*. 2009. No. 1(11). Pp. 92–98. (rus)
23. Yeremeyev P.G. Nauchno-tehnicheskoye soprovozhdeniye pri proyektirovanii, izgotovlenii i montazhe metallokonstruktsiy [Scientific and technical maintenance at design, production and installation of a metalwork]. *Montazhnyye i spetsialnyye raboty v stroitelstve*. 2007. No. 3. Pp. 28–42. (rus)
24. Shalenny V.T., Papirnyk R.B. Povysheniye tekhnologichnosti proyektnykh resheniy monolitnykh i sbornomonolitnykh zdaniy i sooruzheniy [Increase of technological effectiveness of design solutions of monolithic and combined and monolithic buildings and constructions]. *Industrial and Civil Engineering*. 2010. No. 2. Pp. 19–21. (rus)
25. Ryabov S.A., Lugacheva N.A. *Tekhnologichnost konstruktsiy* [Technological effectiveness of designs]. Kemerovo: KuzGTU, 2006. 65 p. (rus)
26. Kolganov I.M., Dubrovskiy P.V., Arkhipov A.N. *Tekhnologichnost aviatsionnykh konstruktsiy, puti povysheniya* [Technological effectiveness of aviation designs, ways of increase]. Ulyanovsk: UoGTU, 2003. 20 p. (rus)
27. Ulshin A.N. Metodika opredeleniya obobshchennogo pokazatelya tekhnologichnosti konstruirovaniya, izgotovleniya, transportirovki i montazha stalnoy sterzhnevoy konstruktsii [Technique of definition of the generalized indicator of technological effectiveness of designing, production, transportation and installation of a steel rod structure]. *International research journal*. 2015. No. 2-1(33). Pp. 95–98. (rus)

**Full text of this article in Russian: pp. 86–99**