

Мониторинг обобщенных показателей технологичности и качества строительных конструкций. На примере стальные конструкции

Для уменьшения расхода ресурсов и обеспечения должного уровня качества как при изготовлении, так и при монтаже металлоконструкций необходимо исследовать обобщенный показатель технологичности и обобщенный показатель качества для последующего их применения при проектировании конструкций. Обобщенный показатель технологичности состоит из количественных показателей. Обобщенный показатель качества состоит из качественных показателей. Количественные показатели характеризуют эффективность расхода основных ресурсов. Качественные характеризуют качество конструкции. Качественные и количественные показатели находятся во взаимосвязи, поэтому при проектировании должны рассматриваться в составе единой системы.

Для качественной оценки предлагается вывести обобщенный показатель качества. С помощью данного показателя определяется максимально возможное качество изготовленной и смонтированной конструкции на уровне проекта.

Для нахождения обобщенного показателя качества автор предлагает следующую последовательность действий, основанную на квалиметрическом подходе к оценке качества [6,7,8]:

- 1) составление иерархической структурной схемы свойств стальных стержневых конструкций на основе экспертного опроса;
- 2) нахождение для каждого из свойств их показателей (вывод) и весовостей (экспертный опрос);
- 3) вывод формулы обобщенного показателя качества стальной стержневой конструкции K_o .

1. Составление иерархической структуры свойств качества стальных стержневых конструкций

Для формирования иерархической структуры дерева свойств необходимо выяснить, какие требования предъявляются к стальным стержневым конструкциям, и систематизировать их. С этой целью автором статьи был организован экспертный опрос компетентных в вопросе качества групп, которым было предложено определить набор свойств, которыми, по их мнению, должна обладать стальная стержневая конструкция.

Формирование иерархической структуры происходит для изготовленной, покрытой антикоррозийным покрытием и смонтированной конструкции.

Компетентные группы сформированы путем отбора специалистов на каждом уровне, на котором задается или утрачивается качество металлоконструкций.

Состав компетентной группы следующий:

- проектировщики стержневых металлоконструкций – 10 человек;
- специалисты, занимающиеся обследованием стержневых металлоконструкций, – 10 человек;
- технологи, специалисты из отдела технического контроля, работающие в области изготовления стержневых металлоконструкций, – 10 человек;

- разработчики проектов производства работ на монтаж стержневых металлоконструкций – 10 человек;
- специалисты эксплуатирующих организаций – 10 человек.

В результате опроса все свойства сгруппированы в иерархическое дерево

Таблица 1. Иерархическая структура свойств, составляющих качество стальной стержневой конструкции

Уровни качества стальной стержневой конструкции			
третий	второй	первый	нулевой
Сопротивление сдвигу и растяжению болтового соединения	прочность	функциональность	Качество в целом
Сопротивление нагрузкам сварного соединения			
Сопротивление нагрузкам узлов			
Сопротивление нагрузкам стержня (стержней)			
Общая устойчивость	устойчивость		
Местная устойчивость			
Ограничение прогиба	затруднение нормальной эксплуатации		
Расход краски	эксплуатационная	экономичность	
Трудоемкость при повторном покрытии			
Срок службы покрытия			
По нагрузке	эксплуатационная	надежность	
Точность изготовления отдельных частей			
Сохранность форм при транспортировке			
Точность сборки			
Качество сварных швов			
Качество выполнения монтажных соединений			
Сохранность внешнего вида при атмосферном воздействии	архитектурно-отделочные качества	эстетичность	
Габаритные размеры	возможность транспортировки	транспортабельность	
масса			
Минимально выступающие части за основной стержень	удобство при транспортировке		

2. Нахождение для каждого из свойств их показателей и весомостей

При нахождении обобщенного показателя качества квалификация рабочих и качество исходных материалов принимаются идеальными, т.е. показатели точности сборки, качества сварных швов, качества монтажных соединений равны 1. Также в точности изготовления отдельных элементов исключается ошибка человека в связи с низкой квалификацией, качество полностью зависит от оборудования. Таким образом, непрогнозируемые свойства не учитываются при нахождении формулы определения полного качества.

Далее автор предлагает для каждого из прогнозируемых свойств показатели.

Функциональность включает:

- сопротивление сдвигу и растяжению болтового соединения;
- сопротивление нагрузкам сварного соединения;
- сопротивление нагрузкам узла;
- сопротивление нагрузкам стержня (стержней);
- общая устойчивость;
- местная устойчивость;
- ограничение прогиба.

Все значения показателей по данным свойствам должны быть не менее нормативных значений, в противном случае происходит перерасход ресурсов при неизменном качестве. Поэтому при проектировании необходимо стремиться, чтобы все отдельные свойства функционального качества были близки к нормативным.

Транспортабельность определяется массой и габаритами конструкции. Для оценки транспортабельности существует два показателя: показатель транспортабельности по габаритам и показатель транспортабельности по массе.

Показатель транспортабельности по габаритам:

$$K_{\text{тр1}} = \frac{P_{\text{габ}}^{\delta}}{P_{\text{габ}}}, \quad (1)$$

$$P_{\text{габ}} = a \times b \times c,$$

где a – высота конструкции;

b – ширина конструкции;

c – длина конструкции.

$$P_{\text{габ}}^{\delta} = a_{\delta} \times b_{\delta} \times c_{\delta},$$

где a_{δ} – высота кузова транспортного средства;

b_{δ} – ширина кузова транспортного средства;

c_{δ} – длина кузова транспортного средства.

Показатель транспортабельности по массе:

$$K_{\text{тр2}} = \frac{P_{\text{масса}}^{\delta}}{P_{\text{масса}}}, \quad (2)$$

где $P_{\text{масса}}$ – масса конструкции;

$P_{\text{масса}}^{\delta}$ – максимальная грузоподъемность транспортного средства.

Обязательное условие транспортабельности:

$$K_{\text{мп1}} \geq 1, \quad K_{\text{тр2}} \geq 1.$$

Удобство при транспортировке. Чем меньше выступающие элементы, тем более удобна для транспортировки конструкция.

$$K_{\text{утр}} = \frac{P_{\text{габ.уд.}}^{\delta}}{P_{\text{габ}}}. \quad (3)$$

Для одностержневых конструкций:

$$P_{\text{габ}} = a \times b \times c,$$

где a – высота конструкции;

b – ширина конструкции;

c – длина конструкции.

$$P_{\text{габ.уд}}^{\delta} = a_{\text{уб}} \times b_{\text{уб}} \times c_{\text{уб}},$$

где $a_{\text{уб}}$ – высота проката основного стержня;

$b_{\text{уб}}$ – ширина проката основного стержня;

$c_{\text{уб}}$ – длина проката основного стержня.

Для многостержневых конструкций (ферм):

$$P_{\text{габ}} = a \times b \times c,$$

где a – высота листового элемента узла поясного стержня;

b – ширина поясного листового элемента узла поясного стержня;

c – длина листового элемента узла поясного стержня.

$$P_{\text{габ.уд}}^{\delta} = a_{\text{уб}} \times b_{\text{уб}} \times c_{\text{уб}},$$

где $a_{\text{уб}}$ – высота поясного стержня, к которому приходит листовой элемент узла;

$b_{\text{уб}}$ – ширина поясного стержня, к которому приходит листовой элемент;

$c_{\text{уб}}$ – длина поясного стержня, к которому приходит листовой элемент.

$K_{\text{утр}} = 1$ для идеальной конструкции.

Надежность состоит из трех показателей: эксплуатационной надежности, сохранности форм при транспортировке и точности изготовления [11].

Показатель эксплуатационной надежности:

$$K_{\text{эн}} = \frac{\chi}{\chi^{\delta}}, \quad (4)$$

где $\chi^{\delta} = \chi_1 \times \chi_2 \times \chi_3$ выведена Мельниковым Н.П. в [5],

где χ_1 – коэффициент перегрузки;

χ_2 – коэффициент однородности свойств материала;

χ_3 – коэффициент условий работы;

χ – фактический коэффициент безопасности.

$$\chi = \frac{P_{\text{факт}}}{P_{\text{норм}}}, \quad (5)$$

где $P_{\text{факт}}$ – фактическая максимальная нагрузка, которая может быть воспринята конструкцией, исходя из ее максимальной несущей способности;

$P_{\text{норм}}$ – суммарная временная и постоянная нагрузка определяется по СНиП

$$K_{\text{эн}} \geq 1.$$

Формула для нахождения значения χ является приближенной, для более точного расчета необходимо использовать формулы, опирающиеся на аналитические модели максимумов нагрузок и внутренних силовых факторов.

Сохранность форм. Наиболее сильно при транспортировке от случайных усилий меняют форму элементы, закрепленные с одной стороны и имеющие максимальную длину от места закрепления. Определяется по формуле (3). $K_{\text{утр}} = 1$ для идеальной конструкции.

Точность изготовления отдельных элементов конструкции особенно важна при изготовлении элементов узлов, поверхности которых передают усилие через соприкосновение, а также при изготовлении фасонных элементов, соединяющих стержни ферм и других

многостержневых конструкций. При изготовлении конструкций, имеющих фрикционные соединения узлов, важно, чтобы стержни имели точный рез. В случае изготовления ферм также важны точные углы реза элементов. Точность изготовления отдельных элементов определяется точностью оборудования.

Показатель точности изготовления стержней:

$$K_{\text{тис}} = \frac{T_{\text{с}}^{\delta}}{T_{\text{с}}}, \quad (6)$$

где $T_{\text{с}}$ – точность используемого для реза оборудования;

$T_{\text{с}}^{\delta}$ – точность принятая за базовую (1 мм).

$$K_{\text{тис}} \geq 1.$$

Показатель точности изготовления пластин:

$$K_{\text{тип}} = \frac{T_{\text{п}}^{\delta}}{T_{\text{п}}}, \quad (7)$$

где $T_{\text{п}}$ – точность используемого для реза оборудования;

$T_{\text{п}}^{\delta}$ – точность принятая за базовую (1 мм).

$$1 \leq K_{\text{тип}} < 2 \text{ для всех остальных конструкций.}$$

$K_{\text{тип}} \geq 2$ для опорных элементов ферм, поверхностей, передающих усилие через соприкосновение, элементов многоугольной сложной формы, пластин под высокопрочные болты.

Показатель точности расположения отверстий:

$$K_{\text{тно}} = \frac{T_{\text{о}}^{\delta}}{T_{\text{о}}}, \quad (8)$$

где $T_{\text{о}}$ – точность расположения отверстий относительно друг друга (расстояние между центрами или координаты центров);

$T_{\text{о}}^{\delta}$ – точность, принятая за базовую (1 мм для болтов нормальной прочности, 0,5 мм для высокопрочных болтов). Показывает разницу между диаметром отверстия и диаметром болта.

Экономичность эксплуатации

Простота окраски зависит от распределения массы в пространстве: для пространственных структур 0,5; для ферм 0,7; для балок 1.

Низкая стоимость антикоррозионной обработки зависит от распределения массы в пространстве: для пространственных структур 0,5; для ферм 0,7; для балок 1.

Для нахождения весомостей отдельных свойств используем метод экспертных оценок. Под методом экспертных оценок решений принимается определение количественной характеристики качества технологичности путем опроса специалистов высокой квалификации и оценка объективности их ответов с помощью современных математических методов и средств, исключающих случайные суждения.

Процедуру получения экспертных оценок весомости можно разбить на четыре этапа

- организация опроса;
- проведение опроса;
- обработка результатов опроса и получение оценок весомости;
- анализ результатов.

Организация опроса. На этом этапе главное – выбор экспертов. Объективность экспертной оценки, ее точность и надежность зависит в основном от квалификации эксперта. Чем более квалифицированный эксперт, тем ближе оценка относительно к истинной.

В данном случае будем использовать способ определения квалификации эксперта, который основан на сравнении его оценки со значением средней оценки, которая условно принимается за истинную []. Отклонение оценок отдельных экспертов от средней принимается как погрешность оценки. Эта погрешность и будет служить критерием квалификации эксперта. Чем больше погрешность, тем ниже «вес» эксперта.

Следует принимать во внимание, что эксперту сложно без значительной ошибки выносить решение, когда приходится учитывать более семи альтернатив, например, назначать весомость более чем семи свойствам.

Каждый из экспертов опрашивается отдельно, чтобы ни один из них не мог влиять на мнение другого.

Проведение опроса. Первичная статистическая обработка данных экспертных оценок предполагает создание количественных выборок, характеризующих мнения каждого из приглашенных экспертов.

Для нахождения весомостей воспользуемся методом ранга. Рассматриваемая методика предполагает оценку каждого свойства по десятибалльной шкале. Каждый эксперт назначает каждому из объектов (транспортальность, надежность, экономичность эксплуатации) определенное количество баллов от 1 до 10.

Обработка результатов опроса и получение оценок весомости. Получение весомостей свойств происходит по формулам :

$$M_i = \frac{\sum_{l=1}^r M_{il}}{\sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^r M_{il}},$$

$$M_{il} = \frac{P_{il}}{\sum_{i=1}^n P_{il}}$$
(9)

где P_{il} – оценка i -го свойства у l -го эксперта;

n – количество свойств;

r – количество экспертов.

Анализ результатов. После того, как экспертные выборки введены в электронные таблицы, необходимо с помощью средств описательной статистики в компактной и наглядной форме представить результаты наблюдений. Полезность методов описательной статистики состоит в том, что по небольшому набору специально выбранных статистических показателей на стадии первичной обработки можно оценить основные и характерные черты экспертных выборок.

Описывающие выборку показателемможно разбить на несколько групп.

1. *Показатели положения* описывают расположение данных числовой оси. К ним относятся: наименьший и наибольший элемент выборки, верхний и нижний квартили (квартили ограничивают зону, в которую попадают 50% центральных элементов выборки), среднее арифметическое из всех наблюдений, выборочная медиана и другие аналогичные характеристики.
2. *Показатели масштаба* описывают степень разброса данных относительно своего центра. К ним относятся: дисперсия выборки, оценка стандартного отклонения, размах выборки (разность между максимальным и минимальными элементами), межквартильный размах (разность между верхней и нижней квартилью), медиана абсолютных отклонений от медианы и так далее. Все эти показатели позволяют судить о том, насколько кучно группируется основная масса данных относительно центра, таким образом, что чем меньше разброс, тем меньше все показатели разброса .

3. *Показатели асимметрии* оценивают степень симметрии распределения выборки относительно центра. К ним относят: коэффициент асимметрии, положение выборочной медианы относительно среднего арифметического, гистограмму выборки.

Результаты экспертных оценок определения весомостей отражены в таблице 2. В данной таблице показатели некоторых свойств приняты за 1, так как их значения менее 1 не допускают строительные нормы на изготовление и монтаж стальных стержневых конструкции, а больше 1 они не могут быть, так как увеличение показателя не увеличивает реальное качество.

Таблица 2. Расчет комплексного показателя качества

Свойства третьего уровня	Козф- фици- ент весомости $K_{в.i}$	Показа- тель свойства третьего уровня K_i	Комплексный критерий качества свойства 2-го уровня $N_j = \sum K_i \times K_{в.i}$	Козф- фициент значимости комплекс- ного критерия $K_{в.j}$	Обобщен- ный критерий $O = N_j \times K_{в.j}$	Обобщен- ный показатель качества $K_o^{по} = \sum O$
Третий уровень			Второй уровень		Первый уровень	Нулевой уровень
Уровни качества стальной стержневой конструкции						
Сопротивление сдвигу и растяжению болтового соединения (проектное)	0,25	1	1	0,27	Функциональ- ность (0,8 N_j)	Качество в целом
Сопротивление нагрузкам сварного соединения (проектное)	0,25	1				
Сопротивление узла	0,25	1				
Сопротивление стержней	0,25	1				
Общая устойчивость	0,5	1	1	0,27		
Местная устойчивость	0,5	1				
Прогиб менее допустимого	0,5	1	1	0,27		
По массе	0,4	$K_{тр1}$	$0,4 K_{тр1} + 0,4 K_{тр2} + 0,2 K_{уд.тр.}$	0,02	Транспорта- бельность (0,02 N_j)	
По габаритам	0,4	$K_{тр2}$				
Минимально выступающие части за основной стержень	0,2	$K_{уд.тр.}$				
По нагрузке	0,65	$K_{эн}$	$0,65 K_{эн} + 0,05 K_{утр} + 0,05 K_{тис} + 0,05 K_{тип}$	0,16	Надежность (0,16 N_j)	
При транспорти- ровке	0,05	$K_{утр}$				

По точности изготовления стержней	0,05	$K_{\text{тис}}$	+0,05 $K_{\text{тио}}$ +0,15			
По точности изготовления пластин	0,05	$K_{\text{тип}}$				
По точности изготовления отверстий	0,05	$K_{\text{тио}}$				
Точность сборки	0,05	1				
Качество сварных швов фактическое	0,05	1				
Качество монтажных соединений фактическое	0,05	1	0,15 $K_{\text{расх.кр}}$ +0,15 $K_{\text{тр.о}}$ +0,7 $K_{\text{ср.сл}}$	0,02	Экономичность эксплуатации (0,02 N_j)	
Расход краски	0,15	$K_{\text{расх.кр}}$				
Трудоемкость при повторном покрытии	0,15	$K_{\text{тр.о}}$				
Срок службы покрытия	0,7	$K_{\text{ср.сл}}$				
Сохранность внешнего вида при атмосферном воздействии	-	-	-	-	Эстетичность (менее 0,01 N_j)	

3. Вывод формулы обобщенного показателя качества стальной стержневой конструкции K_0

В ходе суммирования произведений весомостей на показатели отдельных свойств была получена следующая формула:

$$K_0 = 0,8 + 0,008K_{\text{тр1}} + 0,008K_{\text{тр2}} + 0,004K_{\text{уд.тр}} + 0,104K_{\text{эн}} + 0,008K_{\text{утр}} + 0,008K_{\text{тис}} + 0,008K_{\text{тип}} + 0,008K_{\text{тио}} + 0,024 + 0,003K_{\text{расх.кр}} + 0,003K_{\text{тр.о}} + 0,014K_{\text{ср.п}} \quad (10)$$

Для оценки качества используем следующую таблицу.

Таблица 3. Оценка уровня качества

Значение обобщенного показателя качества	Оценка уровня качества
Менее 0,904	Недопустимый уровень качества
0,904 – 0,95	Низкий уровень качества
0,95- 1	Высокий уровень качества

Граница между недопустимым уровнем качества и низким уровнем качества определяется исходя из назначения минимально возможных показателей отдельных свойств качества.

Выводы

1. В результате проведения экспертного опроса определены свойства, составляющие качество, их весомости и предложены отдельные показатели свойств.

2. Выведена формула (10) обобщенного показателя качества стальной стержневой конструкции.

Разработанная формула (10) для нахождения обобщенного показателя качества стальной стержневой конструкции может быть использована при проектировании совместно с обобщенным показателем технологичности. Это позволит сократить расход ресурсов и обеспечить должный уровень качества как при изготовлении, так и при монтаже металлоконструкций. Также показатель может быть использован отдельно для оценки качества конструкции в целом.