

УДК 624.046.5/624.014

**НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ
СОПРОТИВЛЕНИЯ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ***канд. техн. наук В.В. НАДОЛЬСКИЙ**(Белорусский национальный технический университет, Минск)*

Представлена разработка единой методики для определения и описания неопределенностей моделей сопротивления при анализе надежности стальных конструкции. Все модели создаются с осознанными упрощениями, принятыми для удобства использования, и упущениями из-за недостатка информации, знаний, что вносит систематические отклонения. При этом вероятностная природа величин, оказывающих влияние на экспериментальное значение, вносит случайные отклонения. Анализируются неопределенности модели. Показаны факторы, влияющие на неопределенность модели сопротивления. Делается вывод о необходимости учета неопределенности модели и улучшения модели сопротивления.

Ключевые слова: *сопротивление, расчетные модели сопротивления, погрешность, неопределенность, изменчивость, случайные отклонения, неточность, систематические отклонения, вероятностная модель.*

Введение. Научные и инженерные сообщества заинтересованы в наиболее точном прогнозировании поведения проектируемых и оценке существующих зданий, поэтому большое внимание уделяется развитию и совершенствованию расчетных моделей. Эти модели являются эвристическими инструментами, которые позволяют с определенной точностью создавать и изучать конструкции. В строительной отрасли используемые модели выполняют важную роль, так как допущенные при их применении ошибки могут привести к неприятным последствиям экономического, экологического и социального характера. Широко известно, что неопределенности (изменчивость (случайные отклонения) и неточность (систематические отклонения)) моделей сопротивления и эффектов воздействий играют важную роль при анализе надежности конструкции. Имеющиеся знания о неопределенностях моделей и об их статистических характеристиках в своем большинстве основаны на интуитивных суждениях, а попытки их установления на основе экспериментальных данных сопровождаются несогласованностью используемых методик. Поэтому единая методология протоколирования и оценки неопределенностей моделей является особенно актуальной.

Исследования эффектов воздействий и их комбинаций, как правило, направлены не только на разработку адекватных детерминированных и вероятностных моделей, но и на развитие системы частных коэффициентов посредством анализа надежности. В свою очередь, большинство исследований сопротивления конструкций сосредоточены только на улучшении модели сопротивления. При этом не уделяется должного внимания анализу статистических различий между экспериментальными (измеренными) и теоретическими (прогнозируемыми) значениями сопротивления, игнорируются развитие вероятностных моделей для оценки сопротивления и анализ надежности конструкции.

В представляемой работе описана общая методика вычисления неопределенностей моделей при помощи сравнения экспериментальных и теоретических значений и ее описания для применения в расчетах надежности. Акцент сделан на описании неопределенностей моделей сопротивления для предельных состояний несущей способности. Состояния эксплуатационной пригодности, которые являются одинаково важными, как и состояния несущей способности, требуют отдельного изучения. В рамках данной работы рассматриваются только расчетные модели теоретического сопротивления конструктивного элемента или узла, представленные функцией сопротивления $f(\cdot)$, устанавливающей физическую или эмпирическую зависимость между теоретическим значением сопротивления (выходной величиной R) и соответствующими значениями независимых переменных (входными величинами X_i), информация о которых доступна:

$$R = f(X_1, X_2, \dots, X_N). \quad (1)$$

Общие сведения о неопределенности модели. Все модели создаются с идеализациями (осознанные упрощения модели, принятые для удобства использования, или из-за недостатка информации, знаний) и абстрактным представлением исследуемой особенности (свойства) реального объекта, при этом ряд других особенностей игнорируется, что приводит к систематическим отклонениям в теоретических значениях. При этом нахождение абсолютно точной модели некоторого явления – задача неразрешимая по причине вероятностной природы как самого явления, так и величин, оказывающих влияние на это явление, что, в свою очередь, вносит случайные отклонения в теоретические значения. Точность может варьироваться от низкой степени (в гуманитарных науках) до очень высокой (в технических науках). Повышение точности моделей, используемых в строительстве, как правило, приводит к их усложнению, что может сопровождаться грубыми ошибками при применении таких моделей.

Государственный стандарт СТБ ISO 2394 [1] определяет неопределенность модели (model uncertainty) как базисную переменную, связанную с точностью физической или статистической моделей¹.

Согласно JCSS [2] неопределенность модели учитывает случайные эффекты, которыми пренебрегают в моделях, и упрощения математических зависимостей².

Факторы, влияющие на неопределенность модели сопротивления. При оценке неопределенности расчетной модели следует учитывать факторы (табл. 1), оказывающие влияние на экспериментальное значение сопротивления (результат испытаний) и теоретическое (результат модели) [3–6]. Значимость факторов, влияющих на экспериментальное и теоретическое значения сопротивления, зависит непосредственно от анализируемого конструктивного элемента и вида отказа.

Таблица 1 – Факторы, влияющие на экспериментальное и теоретическое значения сопротивления

Значения	Факторы	Примеры
Экспериментальное	Критерий отказа	В ряде случаев затруднительно сформулировать и проконтролировать качественную и количественную характеристику отказа (предельные нагрузки, деформации, прогибы)
	Измерения экспериментального значения сопротивления (выходной величиной R)	Погрешность измерительных приборов, неучтенные факторы, влияющие на точность измерений
	Схема испытаний	Наличие сил трения, идеализация условий раскрепления и условия закрепления
	Создание нагрузки	Способы передачи, скорость приложения сил
	Испытываемый образец	Изменчивость, связанная с изготовлением определенного образца, изменчивость свойств образца в сечении и по длине элемента, наличие локальных дефектов
Теоретическое	Осознанные упрощения модели	Идеализированная диаграмма деформирования стали; упрочнение стали; сварочные напряжения; геометрические несовершенства, такие как отсутствие вертикальности, прямолинейности
	Измерения базисных переменных (входных величин X_i) в процессе эксперимента	Погрешность измерительных приборов
	Неопределенность входной величины X_i	Прочность стали, модуль упругости и другие параметры оцениваются по образцу
	Упущения в модели	В силу ограниченности знаний об образце и некоторых его свойствах
	Вычислительные упрощения при использовании численных методов решения, таких как метод конечных элементов	Дискретность, тип конечных элементов, граничные условия

Учет неопределенности экспериментального значения. Неопределенность экспериментального значения сопротивления зависит от типа испытания и навыков персонала. При использовании хорошо продуманных, проработанных или апробированных методов испытаний неопределенность экспериментального значения обычно незначительная. Поэтому важно использовать стандартные процедуры испытания и измерения для минимизации неопределенности и получения достоверных и сопоставимых результатов. Хорошо откалиброванные методы испытания обеспечивают достаточно точные результаты, при этом, как правило, среднее значение неопределенности экспериментального значения сопротивления (ϵ) примерно равно 1 (то есть $\mu_\epsilon \approx 1$). Следовательно, $\mu_0 \approx \mu_{\text{observed}}$, где μ_0 – реальное значение математического ожидания неопределенности модели, μ_{observed} – математическое ожидание неопределенности модели по результатам обработки экспериментальных значений. Влияние неопределенности экспериментального значения может быть выражено через коэффициенты вариации:

$$V_0 \approx \frac{V_{\text{observed}}}{V_\epsilon} - 1 \quad (2)$$

где V_0 – коэффициент вариации неопределенности модели; V_{observed} – коэффициент вариации, полученный из сравнения экспериментального и теоретического значения сопротивления; V_ϵ – коэффициент вариации неопределенности экспериментального значения.

¹ A basic variable related to the accuracy of physical or statistical models.

² The model uncertainties account for: random effects that are neglected in the models; simplifications in the mathematical relations.

Для большинства методик испытаний V_e составляет до 0,05, тогда при V_{observed} больше 0,1 неопределенность экспериментального значения оказывается малозначимой, ею можно пренебречь. Поэтому неопределенность экспериментального значения далее не рассматривается.

Во многих случаях более важно установить взаимосвязь между реальной работой конструкции и испытываемым образцом (идеализация реальной конструкции), чем определить неопределенность экспериментального значения, вносимую процедурой испытания. Неопределенность испытываемого образца может зависеть от разных факторов: граничных условий (опоры, неразрезные элементы); условий нагружения (способ передачи, длительность нагрузки и история приложения); изготовления и монтажа; масштабного эффекта; температурно-влажностных условий и т.д. Некоторые из особенностей условий эксплуатации конструкции могут быть учтены посредством частных коэффициентов. При этом нужно помнить о том, чтобы эти условия были учтены только единожды.

Анализ неопределенности модели. Статистические свойства неопределенности модели, насколько возможно, должны быть получены на основании экспериментального значения сопротивления.

В общем случае статистические параметры неопределенности модели определяют эмпирическим путем, сопоставляя экспериментальные и теоретические значения.

В соответствии с СТБ ISO 2394 [1] неопределенность модели может быть выражена через одну или несколько случайных переменных u_i . В общем случае экспериментальное значение Y' можно записать как

$$R_e = f(X_1 \dots X_n, \theta_1 \dots \theta_m). \quad (3)$$

Чаще всего необходимая информация для такой записи недоступна, поэтому наибольшее распространение получили записи в виде [1]:

$$R_e(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) = \theta(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) \cdot R_t(\mathbf{X}); \quad (4)$$

$$R_e(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) = \theta(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) + R_t(\mathbf{X}), \quad (5)$$

где R_e – экспериментальное значение сопротивления; \mathbf{X} – вектор переменных X_i , входящих в модель; \mathbf{Y} – вектор неучтенных переменных в модели, влияющих на сопротивление конструкции; θ – случайная переменная с некоторым законом распределения вероятностей, характеризующая неопределенность моделирования; R_t – теоретическое значение сопротивления.

Самый распространенный способ представления неопределенности модели – это мультипликативная зависимость, формула (4), так как модели сопротивления обычно имеют мультипликативный характер, и для базисных переменных используется логнормальное распределение. Кроме того, мультипликативную запись корректнее применять в случае, когда разница между экспериментальным и теоретическим значениями пропорциональна значению исследуемой величины, что встречается в исследованиях сопротивления конструкции.

Аддитивная зависимость неопределенности модели может рассматриваться как альтернатива мультипликативной зависимости, формула (5). При аддитивной зависимости доминирующее влияние на неопределенность модели оказывают большие значения сопротивления, поэтому информация, полученная при испытании образцов с меньшим сопротивлением, может быть утеряна. Аддитивный формат обычно применяется для определения неопределенности геометрических характеристик.

Модель может быть уточнена, соответственно, уменьшена неопределенность модели с помощью многопараметрической регрессии. Однако в этом случае модели утрачивают сугубо физический смысл и приобретают оттенок эмпирической зависимости, что затрудняет понимание сущности процесса. При возникновении такой ситуации предпочтительным является уточнение физической модели.

При исследовании неопределенности теоретической модели на основании базы экспериментальных данных следует выполнить следующие шаги:

- определение области применения модели сопротивления и результатов испытаний;
- составление базы экспериментальных данных;
- качественный анализ базы экспериментальных данных;
- вычисление неопределенности модели;
- статистическая оценка неопределенности модели, анализ вероятностной модели;
- анализ надежности и изучение необходимости дальнейших исследований модели.

Составление базы экспериментальных данных. Основой для оценки неопределенности расчетных моделей является база экспериментальных данных, в которую должны входить все величины, необходимые для повторения испытания и для определения теоретических значений сопротивления.

К основным параметрам базы экспериментальных данных относятся:

- количество испытаний;
- значения переменных X и Y ;

- методика испытания;
- оборудование для испытания и его тарировка;
- обеспечение граничных условий;
- достоверность результатов испытаний;
- наличие информации, указывающей на отклонения результатов испытаний.

Количество результатов испытаний обычно ограничено с точки зрения статистической обработки и не является в полной мере репрезентативным. Но даже ограниченное количество результатов испытания предпочтительнее интуитивной оценки неопределенности модели.

При формировании базы экспериментальных данных необходимо отразить как можно подробнее информацию об условиях проведения испытаний и значениях $\{X; Y\}$. При этом необходимо четко определить переменные X . Например, когда на сопротивление стального элемента влияет предел прочности, это значение должно быть включено непосредственно в модель сопротивления, а не предел текучести, увеличенный посредством некоторого коэффициента. В общем случае следует делать разграничение между «прямыми» и «относительными» переменными X . Примером первого является прочность материала, второго – условная гибкость элемента и т.д. Примерами переменных Y являются сварочные напряжения, начальные несовершенства и т.д. Кроме переменных X и Y полезно определить условия проведения испытаний, которые могут влиять на экспериментальное значение сопротивления. Например, абсолютная влажность воздуха почти не влияет на прочность стали, но может влиять на точность измерительных приборов.

По возможности, необходимо отразить степень достоверности информации, что особенно важно, когда база экспериментальных данных скомпилирована из различных источников, следовательно, дальнейшая проверка достоверности этой информации обычно проблематична.

Следует учитывать, что экспериментальные значения сопротивления обычно получены на основании исследований конкретной модели сопротивления. Поэтому определенная степень осторожности должна быть предпринята при анализе взаимодействия нескольких видов отказа или при отсутствии явно доминирующего механизма разрушения.

В процессе пополнения базы экспериментальных данных рекомендуется производить обработку и анализ результатов после каждого внесения данных из одного источника с целью оценки степени достоверности результатов и своевременного анализа выбросов, искажающих результаты измерений.

При объединении результатов испытаний рекомендуется соблюдать следующие правила:

- проверка результатов испытаний должна быть выполнена из разных источников;
- должен быть отражен критерий отказа (необходимо соблюдать осторожность, когда критериями отказа являются деформации, прогибы или ширина раскрытия трещин);
- следует обеспечить соответствие между результатами испытаний и видом отказа, предсказанным теоретической моделью (например, по графику зависимости деформаций от напряжения можно определить, является вид отказа хрупким или пластическим);
- должна быть установлена дифференциация между различными видами отказа (например, для изгибаемого элемента могут быть характерны различные формы потери устойчивости и взаимосвязь общей и местной потерь устойчивости).

Следует придерживаться следующих принципов при вычислении неопределенности модели:

- неопределенность теоретического значения должна быть снижена посредством применения измеренных значений входных величин X (например, следует использовать фактическую (измеренную) прочность материала, а не ее характеристическое значение);
- при отсутствии возможности установления значений X и Y непосредственно из эксперимента: значения некоторых переменных допускается принимать на основе предыдущего опыта (модуль упругости стали) или на основании известных зависимостей через измеренные переменные (прочность стали через ее твердость). Однако в последнем случае появляется дополнительная неопределенность;
- отдельные переменные, не учтенные в модели (переменные Y), должны быть включены в процедуру оценки, так как они могут влиять на неопределенность модели.

Статистическая оценка результатов вычисления неопределенности модели. В дополнение к рассмотренной выше качественной оценке результатов исследования неопределенности модели должен быть выполнен анализ с помощью следующих инструментов математической статистики:

- *репрезентативность выборки.* Репрезентативная выборка – это такая выборка, в которой все основные признаки генеральной совокупности, из которой извлечена данная выборка, представлены приблизительно в той же пропорции или с той же частотой, с которой данный признак выступает в этой генеральной совокупности. Критерий репрезентативности выборки может быть получен с помощью рассмотрения диапазона распределения базисных переменных из базы данных экспериментов в виде гистограммы. Обеспечение репрезентативности осложняется тем, что экспериментальные исследования сопротивления конструкции обычно акцентированы на исследовании влияния отдельных переменных. При

определении генеральной совокупности необходимо учитывать ограничения, наложенные на диапазон базисных переменных (например, ограничения размеров профилей);

- *корреляция между неопределенностью модели и переменными*. В общем случае неопределенность модели зависит от базисных переменных X . Влияние отдельных переменных может быть определено с помощью регрессионного анализа. Диаграмма рассеивания результатов неопределенности модели от базисной переменной позволяет определить тренд зависимости и разброс относительно тренда. Корреляция между неопределенностью модели θ и переменными X или Y количественно оценивается с помощью коэффициентов корреляции $r\{\theta, X\}$ или $r\{\theta, Y\}$. Представление неопределенности модели как случайной переменной целесообразно и корректно в случае, когда корреляция между θ и $\{X, Y\}$ является статистически незначительной, т.е. неопределенность модели не связана с систематическим изменением переменных X и Y ;

- *выбросы*. Выбросы могут возникнуть из-за ошибок при проведении испытания, оформлении отчетов и вычислений, из-за нестандартных условий испытания, вида отказа за пределами области рассматриваемой модели, значительного отличия образца (например, результаты испытания балки с большим поперечным сечением не должны находиться в одной выборке с балками обычных размеров, так как размер балки может оказывать существенное влияние на неопределенность модели) и т.д. Наличие выбросов может сильно влиять на значения статистических показателей, поэтому нужно уделять особое внимание определению выбросов. Для определения выбросов можно использовать различные статистические методики. Выбросами не следует полностью пренебрегать – они могут представлять истинные крайние значения результатов;

- *выборочные статистические моменты*. Окончательная база данных должна быть использована для статистической оценки параметров распределения. Оценки методом моментов не требуют установления закона распределения, в то время как оценки с помощью метода максимального правдоподобия, полученные для гипотетического распределения, считаются статистически более эффективными. Наибольшее внимание уделяется определению коэффициента вариации (V_θ), который определяет точность модели и оказывает непосредственное влияние на показатели надежности, и среднего значения (μ_θ), которое отражает систематическое различие между экспериментальным и теоретическим значениями. На практике модель должна включать ограниченную степень консервативной систематической ошибки ($\mu_\theta > 1$);

- *статистическая неопределенность*. Статистическую неопределенность параметров распределения необходимо рассматривать в случае малой выборки, т.е. когда число испытаний меньше 10...30 (в зависимости от дисперсии неопределенности модели). В таких случаях полезным является Байесовский подход, особенно когда так называемая предварительная информация может быть получена на основе анализа неопределенности похожей модели или на основе экспертного заключения;

- *вероятностное описание неопределенности модели*. Особое место занимает вопрос установления закона распределения. Обычно закон распределения устанавливается на основе доступных экспериментальных данных. Часто наличие экспериментальных данных ограничено, что не позволяет получить статистически достоверные результаты. Поэтому при назначении закона распределения используют теоретические предположения. Обычно вероятностные модели для неопределенности модели предварительно выбирают из принятой практики моделирования надежности. В нормативных документах СТБ ISO 2394 [1] и JCSS [2] и ТКП EN 1990 [7] приведены рекомендации по выбору закона распределения базисных переменных. Для описания неопределенности модели рекомендовано логарифмически нормальное распределение или распределение Вейбулла. При первом приближении можно использовать нормальное распределение в качестве консервативного подхода к определению нижнего квантиля неопределенности модели для функции сопротивления. Двухпараметрическое логнормальное распределение более объективно, но несколько неконсервативно. Если доступны соответствующие данные, с помощью которых можно было бы сделать удовлетворительную оценку отклонения неопределенности модели (коэффициента асимметрии, сдвига), более объективные варианты представляют произвольное или трехпараметрическое логнормальное распределение.

Необходимость учета неопределенности модели и улучшения модели сопротивления. Довольно часто возникает вопрос о степени точности модели. Возможно, наиболее достоверно можно установить необходимость дальнейшего совершенствования модели на основе анализа надежности конструкции с последующими анализами коэффициентов чувствительности. Предлагается следующая классификация влияния неопределенности модели, основанная на коэффициенте чувствительности в соответствии с методом надежности 1-го порядка.

1. *Несущественное влияние* – коэффициент чувствительности в соответствии с методом теории надежности 1-го порядка меньше 0,3. В этом случае неопределенность модели сопротивления не влияет на оценку надежности конструкции, поэтому ей можно пренебречь или включить ее влияние в другую базисную переменную. Моделирование физического процесса можно считать достаточно точным, и даль-

нейшее совершенствование модели неэффективно. Примером этого случая является модель сопротивления изгибу стального сечения, не чувствительного к потере местной устойчивости.

2. *Значительное влияние* – коэффициент чувствительности находится в пределах от 0,3 до 0,7. Влияние неопределенности модели на оценку надежности конструкции довольно значительное, и следует вводить отдельный частный коэффициент. Учитывая важность неопределенности модели, она должна быть учтена как отдельная базисная переменная. В качестве примера можно привести сопротивление изгибу стального элемента при проверках устойчивости.

3. *Доминирующее влияние* – коэффициент чувствительности превышает значения 0,7. Неопределенность модели сопротивления оказывает доминирующее влияние на оценку надежности конструкции, поэтому следует уделить особое внимание анализу вероятностной модели неопределенности моделирования сопротивления. При этом полезными бывают рассмотрение модели для конкретных случаев проектирования, ограничение области применения и т.д. Моделирование физического процесса является приближительным, поэтому необходимо дальнейшее совершенствование моделей сопротивления.

Неопределенность модели сопротивления можно уменьшить одним из следующих способов [7]:

- корректировкой расчетной модели путем учета дополнительных параметров, которые не принимались в расчет;
- путем разделения генеральной совокупности результатов испытаний на соответствующие подгруппы, для которых влияние таких дополнительных параметров можно считать постоянным.

Учет неопределенности модели при определении частных коэффициентов для моделей сопротивления стальных конструкций. Расчетное значение сопротивления, выраженное непосредственно через его характеристическое значение R_k , можно определить с использованием интегрального частного коэффициента γ_M :

$$R_d = R_k / \gamma_M. \quad (6)$$

Интегральный частный коэффициент γ_M должен учитывать неблагоприятные отклонения свойств материалов, геометрических размеров, неопределенности расчетных моделей сопротивления и т.д. В общем случае частный коэффициент должен быть определен калибровкой исходя из условия обеспечения заданной надежности конструкции с учетом воздействий. Упрощенно интегральный частный коэффициент для модели сопротивления можно определить следующим образом:

$$1 / \gamma_M = b_R \exp(-\alpha_R \beta \cdot V_R), \quad (7)$$

где

$$b_R = b_z \cdot b_{f_y} \cdot b_{\theta}.$$

Здесь b_z – среднее значение отношения фактического (измеренного) значения геометрического параметра сечения (например, высота сечения, площадь, момент инерции, момент сопротивления и т.д.) к его характеристическому значению; b_{f_y} – среднее значение отношения фактического (измеренного) значения свойства материала (например, предел текучести, предел прочности и т.д.) к его характеристическому значению; b_{θ} – среднее значение неопределенности расчетной модели, т.е. отношения фактического (экспериментального) значения сопротивления к его значению, определенному по расчетной зависимости;

Далее, в формуле (7) α_R – значения коэффициентов чувствительности согласно методу надежности 1-го порядка [7]; β – целое значение индекса надежности [7]; V_R – коэффициент вариации значения сопротивления (в случае независимых величин его можно принять равным $(V_z^2 + \dots + \dots)^{0,5}$, где V_z, V_{f_y}, V_{θ} – соответственно коэффициенты вариации геометрических характеристик сечения, свойств материала, неопределенности расчетной модели).

Заключение. Создание абсолютно точной модели некоторого процесса является задачей неразрешимой по ряду причин:

- вероятностной природы как самого процесса, так и величин, оказывающих влияния на этот процесс;
- осознанных упрощений модели для простоты использования;
- неполноты математической модели;
- недостатка информации;
- субъективных личностных аспектов.

Неопределенности расчетных моделей при проверках предельных состояний в рамках метода частных коэффициентов учитываются посредством системы частных коэффициентов. Поэтому определение неопределенностей расчетных моделей и разработка их вероятностных моделей является актуальной и важной задачей процесса нормирования значений частных коэффициентов. При моделировании новых конструктивных решений или при других обстоятельствах, когда возможность неопределенностей

увеличивается, следует повышать значения частных коэффициентов. Изменять значения данных коэффициентов в неблагоприятную сторону допускается только в тех случаях, когда на это есть убедительные обоснования. При этом важно сохранять баланс между консервативным и новаторским подходами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Надежность строительных конструкций. Общие принципы : СТБ ISO 2394-2007. – Введ. 01.07.08. – Минск : Госстандарт Республики Беларусь, 2007. – 69 с
2. JCSS Probabilistic Model Code // Joint Committee of Structural Safety [Electronic resource]. – 2001. – Mode of access: <http://www.jcss.ethz.ch>. – Date of access: 15.01.2012.
3. Nadolski, V. Uncertainty in resistance models for steel members / V. Nadolski, M. Sykora // Transactions of the VŠB – Technical University of Ostrava. – 2014. – No. 2, Vol. 14, Civil Engineering Series. – 2014. – P. 119–130.
4. MacLeod, I. Modern Structural Analysis: Modelling Process and Guidance / I. MacLeod // Thomas Telford, Reston, VA, 2005. – 206 p.
5. Søkora, M. Assessment of Uncertainties in Mechanical Models / M. Søkora, M. Holicky // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vol. 378. – P. 13–18.
6. Weisberg, M. Simulation and Similarity: Using Models to Understand the World / M. Weisberg // Oxford University Press, Oxford, UK, 2013. – 224 p.
7. Еврокод. Основы проектирования конструкций : ТКП EN 1990-2011. – Введ. 01.07.12. – Минск : Госстандарт Респ. Беларусь, 2012. – 70 с.

Поступила 22.05.2016

UNCERTAINTY OF THE DESIGN RESISTANCE MODELS OF STEEL STRUCTURES

V. NADOLSKI

The development of a uniform methodology for the identification and description of uncertainties resistance models for reliability analysis of steel structures is presented. All models are created with the deliberate simplifications adopted for ease of use, and omissions due to lack of information, knowledge that makes systematic deviations. At the same time probabilistic nature of the variables that influence the experimental value introduces random deviations. The model uncertainty is analysed. Factors affecting the uncertainty of the resistance model are shown. The conclusion about the need to consider model uncertainty and improve the resistance of the model are made.

Keywords: *resistance, the calculated model resistance, error, uncertainty, variability, random deviation, inaccuracy, of bias, probabilistic model.*