

ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ И МОНИТОРИНГА ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ТЕХНОСФЕРЫ

Ж.Г. Могилюк (МГСУ), В.В. Подувальцев (МГТУ им. Н.Э. Баумана), М.С. Хлыстунов (МГСУ)

Рассматривается проблема безопасности функционирования АСУТП с точки зрения влияния метрологической достоверности и неопределенности в данных мониторинга сопутствующих динамических параметров технологических процессов, которые могут стать источниками сверхпроектных механических нагрузок на строительные конструкции производственных зданий и сооружений. Основное внимание уделено получению и интерпретации данных контроля и мониторинга на основе теоретической модели распределения динамических нагрузок на элементах и узлах объекта с целью оценки безопасности напряженно-деформированного состояния его конструкций. Показано, что формирование неопределенности в определении интенсивности распределения динамических напряжений и деформаций на элементах конструкции связано с особенностями многоточечных измерений параметров безопасности. Рассмотрены схемы и алгоритмы измерения и последующего расчета динамических нагрузок на элементах конструкции, недоступных для прямого контроля. Показано, что каждый элемент конструкции представляет собой сложную виброакустическую колебательную систему с распределенными массой и жесткостью. Элементы конструкции анализируются с учетом их виброакустических импедансов и виброакустического взаимодействия в акустически связанной системе конструктивных элементов. Для автоматического математического моделирования и интерпретации данных измерений используется метод виброакустических аналогий, который при ограниченном числе точек измерения позволяет детально описывать механизм передачи и распределения технологических динамических нагрузок на элементах строительной конструкции. Представлены эквивалентные схемы и системы уравнений, которые могут быть непосредственно использованы для модернизации АСУТП в различных отраслях промышленности и обеспечения безопасности их воздействия на строительные конструкции производственных зданий и сооружений.

Ключевые слова: автоматизированные системы управления, технологические процессы, технологические динамические нагрузки, безопасность производственных зданий, контроль безопасности, расчетная виброакустическая модель.

Введение

АСУТП широко применяются в современном промышленном производстве, включая машиностроение, металлургию, атомную энергетику и химическую промышленность. Исполнительные механизмы таких АСУТП являются источниками достаточно интенсивных виброакустических воздействий на строительные конструкции производственных зданий и сооружений.

Однако, как правило, безопасность этих воздействий на строительные конструкции формально обеспечивается на стадии проектирования производственных зданий и сооружений, а непрерывный автоматический контроль возможных динамических перегрузок конструкций подменяется их периодическими обследованиями, что резко повышает риск реализации аварийных ситуаций на объектах техносферы с использованием виброактивных исполнительных механизмов в АСУТП.

В связи с этим возникает необходимость введения в контуры управления АСУТП автоматических систем измерения (мониторинга) сопутствующих функционированию АСУТП

механических перегрузок строительных конструкций, а также системы автоматического расчета распределения этих нагрузок на элементах строительных конструкций с целью автоматического устранения аварийно опасных перегрузок при росте виброактивности технологических процессов.

В настоящее время многие автоматизированные программные комплексы расчетного моделирования конструкций, используемые при решении обратной задачи

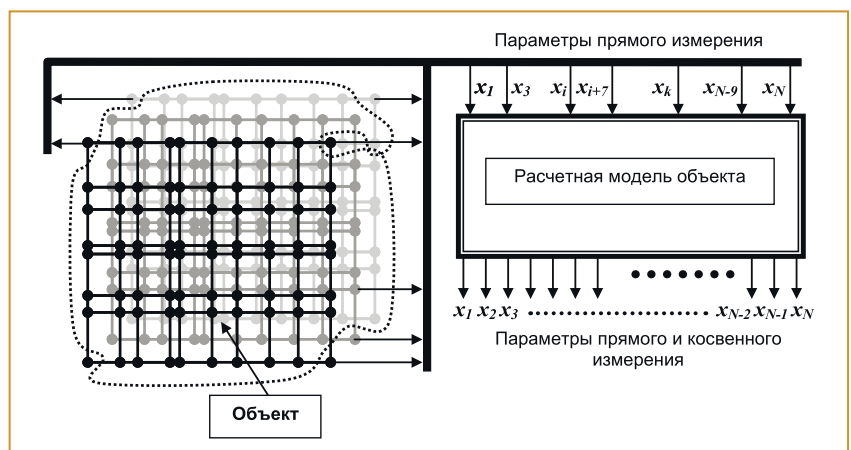


Рис. 1. Типовая схема мониторинга параметров безопасности объекта техносферы

мониторинга, не обеспечивают необходимой точности расчета динамических характеристик и нагрузок строительных конструкций объектов техносферы [1, 2]. Одна из возможных типовых схем динамического мониторинга параметров безопасности объекта техносферы методом косвенных многоточечных измерений приведена на рис. 1, где пунктиром показана граница конструктивной недоступности подлежащих контролю критических точек объекта техносферы для прямых измерений параметров безопасности. Согласно схеме на рис. 1, всего подлежат контролю N точек $\forall (n = 1, 2, 3, \dots, N-2, N-1, N)$. Доступными для прямого измерения на данном объекте, например, являются всего семь критических точек, в том числе $x_1, x_3, x_i, x_{i+7}, x_k, x_{N-9}$ и x_N .

Тогда для получения полной информации о техническом состоянии объекта нужна дополнительная информация о параметрах безопасности в его остальных $(N-7)$ критических точках, недоступных для прямых измерений.

Как правило, в таких случаях используются расчетные динамические модели объекта, благодаря которым по данным мониторинга в семи точках выполняется расчет параметров безопасности по остальным, недоступным для прямых измерений $(N-7)$ критическим точкам объекта.

Однако алгоритмы динамического моделирования разработчиками таких комплексов не раскрываются и представляют собой «черный ящик» для пользователя, что не позволяет детально исследовать (оптимизировать) распределение динамических нагрузок в пространстве технической конструкции [3]. Наряду с этим при формировании пакета исходных данных для динамического моделирования в этих комплексах не принимаются в расчет виброакустические характеристики элементов конструкций и параметры акустических связей между ними. Это дает веские основания полагать, что динамическое моделирование в таких комплексах имеет ограниченное применение [4, 5, 6] и пригодно только для квазистатического математического описания конструкций. Последние могут быть представлены как связанные системы идеализированных элементов конструкции в виде сосредоточенных масс и жесткостей с приемлемой погрешностью, как правило, только на низких частотах [7]. Этот существенный недостаток таких комплексов не позволяет их использовать непосредственно в АСУТП.

Эта проблема наличия в широко распространенных программных комплексах расчетного моделирования таких «черных ящиков» или программных модулей обратного динамического моделирования является «младенческой» болезнью начального этапа развития программных комплексов автоматизированного расчетного моделирования [1, 2]. Наряду с этим эта «болезнь» затянулась также в связи с отсутствием профессиональной подготовки инженеров в области физико-математических основ динамического моделирования сложных колебательных механических систем с распределенной массой и жесткостью элементов конструкции.

В отличие от технического расчетного моделирования, например, в сейсморазведочных программных комплексах геологоразведочного компьютерного моделирования и интерпретации данных сейсморазведки, при приобретении таких комплексов не допускается наличие скрытых от пользователя алгоритмов. Это обусловлено тем, что любой, даже самый совершенный алгоритм моделирования имеет вполне конкретные границы достоверности, зависящие, в том числе от особенностей тонкой структуры геологического разреза района сейсморазведки.

Скрытие от пользователя систем автоматизированного контроля и мониторинга детального описания алгоритмов измерений и сертифицированных границ (условий) гарантированной достоверности их применения является признаком недобросовестной конкуренции со стороны разработчика комплекса и/или сознательным введением им покупателя комплекса в заблуждение относительно гарантий «высокого» метрологического качества приобретаемого товара (комплекса) [8].

В комплексах технического проектного моделирования эта проблема усугубляется тем, что виброакустические импедансы элементов конструкции и связей между ними не сертифицируются поставщиками элементов технических конструкций, а их экспериментальная верификация в период поставки и эксплуатации ничем не регламентируется и не осуществляется.

Как следствие, в дальнейшем оказывается невозможным корректно оценить достоверность результатов применения программных комплексов при моделировании динамических характеристик зданий и сооружений и распределения динамических нагрузок на элементах конструкций по данным косвенных измерений. Наряду с этим результаты натурных динамических исследований и мониторинга показывают, что расхождение значений экспериментально верифицированных и расчетных динамических характеристик сооружений, полученных с применением программных комплексов технического проектирования, как правило, существенно превышает 10% и выходит за пределы расчетного запаса динамической устойчивости конструкций [7].

Отсутствие сертифицированных математических моделей распределения динамических нагрузок на элементах технических конструкций особенно остро проявляется в период эксплуатации, когда становится практически невозможным выполнить не только достоверную оценку, но даже качественную интерпретацию результатов мониторинга распределения динамических нагрузок и установления реальных причин снижения показателей динамической устойчивости и безопасности объектов техносферы [8].

Проблема интерпретации результатов контроля и мониторинга динамических нагрузок

Рассмотрим проблему достоверности интерпретации результатов динамического мониторинга

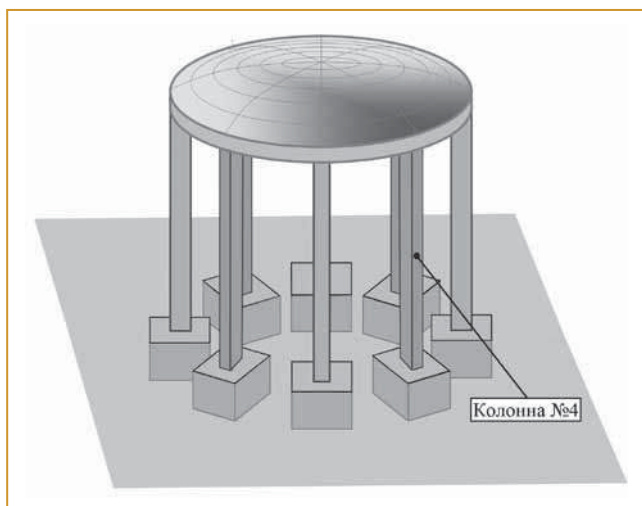


Рис. 2. Конструктивная схема сооружения со сферическим покрытием

и установления реальных причин снижения показателей динамической устойчивости и безопасности сооружения на примере объекта (рис. 2) с покрытием в виде сферической оболочки, жестко установленной на восьми колоннах с собственными фундаментами.

Данный пример взят в качестве обобщающей схемы каркаса конструкций, которые удалось найти в целом ряде доступных для авторов статьи отчетов по результатам динамического мониторинга и натурного исследования их динамических характеристик безопасности (динамических нагрузок).

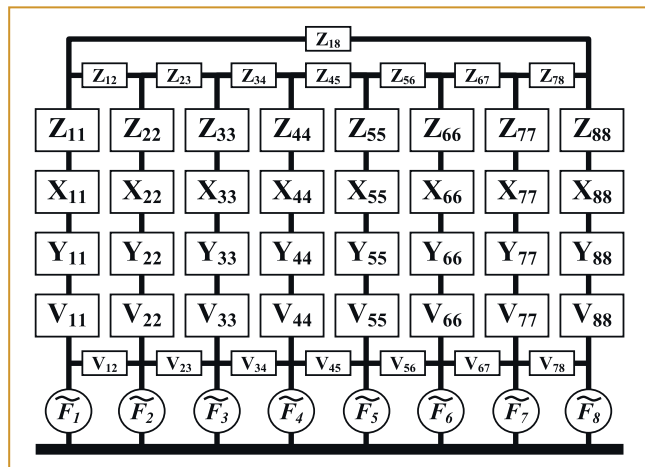


Рис. 3. Виброакустическая модель динамического нагружения сооружения на рис. 2:

$Z_{ij} \forall (i = j)$ - виброакустический импеданс крепления оболочки к i -той колонне; $Z_{ij} \forall (i \neq j)$ - импеданс виброакустической связи по оболочке между креплениями i -той и j -той колонн; $X_{ij} \forall (i = j)$ - виброакустический импеданс i -той колонны; $Y_{ij} \forall (i = j)$ - виброакустический импеданс крепления i -той колонны к фундаменту; $V_{ij} \forall (i = j)$ - импеданс виброакустической связи фундамента i -той колонны с грунтом основания; $V_{ij} \forall (i \neq j)$ - импеданс виброакустической связи по грунту основания фундаментов i -той и j -той колонн; F_i - микросейсмические или иные внешние динамические силовые нагрузки, поступающие на i -тую колонну

Согласно этим отчетам, исследователи по результатам мониторинга установили, например, что максимум интенсивности динамической реакции (амплитуды колебаний) оболочки объекта на динамические нагрузки находится над колонной №4, как показано на оболочке (рис. 2) повышенной интенсивностью затенения участка оболочки, прилежащего к точке ее крепления на колонне №4.

В связи с этим авторы отчета интерпретировали нарушение симметричности распределения вертикальных колебаний оболочки по ее поверхности несимметричностью распределения массы материала в покрытии (за счет сверхпроектного увеличения толщины оболочки) и, как следствие, смещения центра масс оболочки в сторону колонны №4.

Однако анализ детальной виброакустической модели динамического нагружения конструкции объекта (рис. 3) показал неочевидность данной интерпретации результатов динамического мониторинга и натурного исследования динамических характеристик данного типа сооружения.

Как показано на рис. 3, детальная динамическая модель конструкции сооружения оказывается настолько сложной, что можно прийти к выводу о невысокой достоверности (около 3%) выбираемых авторами отчета вариантов интерпретации причин концентрации (максимума) динамических деформаций (колебаний) оболочки в окрестности ее крепления к колонне №4.

Напротив, при корректном расчетном моделировании, например, виброакустическом, может оказаться, что детальная поэлементная оценка причин распределения динамических деформаций или амплитуд колебаний вдоль поверхности оболочки даст прямо противоположный вариант интерпретации результатов производственного контроля и мониторинга динамических характеристик устойчивости данного сооружения.

Метод контроля и расчета распределения нагрузок на элементах конструкции

Рассмотрим типовой вариант автоматизированного контроля и мониторинга динамической устойчивости сооружения на рис. 2, когда непосредственно измеряются только внешние нагрузки на ее конструкцию. Распределение нагрузок на элементах конструкции объекта, также подлежащее автоматизированному контролю, определяется путем вычисления их значений на динамической модели объекта с использованием прямых измерений внешних нагрузок.

Рассматриваемая конструкция объекта представляет собой статически неопределимую механическую систему, и эта категория подобных систем также остается неопределимой и при динамических нагрузках.

Поэтому ее решение может быть реализовано путем составления и решения системы уравнений, включая уравнения динамического равновесия и неразрывности связей элементов конструкции.

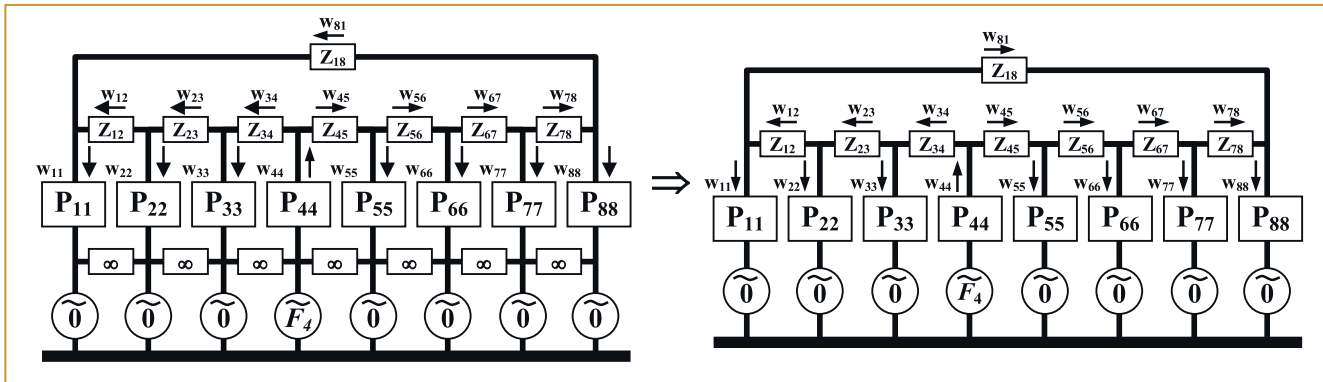


Рис. 4. Виброакустическая модель динамического нагружения объекта на рис.2, упрощенная в соответствии с выражениями (1) и (2): $F_{ij}=F_{xij}+jF_{yij}$ – Фурье-образы силовых нагрузок на ij -ом элементе конструкции в виде комплексной переменной с активной (вещественной) F_{xij} и реактивной (мнимой) F_{yij} составляющими

Эквивалентная электрическая (виброакустическая) модель такой системы существенно расширяет инструментальные физико-математические возможности корректного решения этой задачи за счет применения законов Кирхгофа, Ома и представления динамических параметров элементов конструкции в виде комплексных функций. Такими функциями могут быть корректно представлены как динамические нагрузки, перемещения и деформации, так и динамические параметры элементов конструкции, включая динамическую жесткость (или динамическую податливость), инерционную массу и коэффициент затухания виброакустических деформаций (потерь) в теле элемента конструкции.

Для исключения объемных, но тривиальных математических операций, загромождающих текст настоящей статьи, упростим, не теряя сущности метода, виброакустическую модель строительной конструкции следующим образом

1. Представим общий виброакустический импеданс i -той колонны P_{ii} с ее собственным импедансом X_{ij} и импедансами ее узлов сопряжения с покрытием Z_{ij} и фундаментом Y_{ij} , а также ее фундамента с грунтом основания V_{ij} суммой:

$$P_{ii}=Z_{ii}+X_{ii}+Y_{ii}+V_{ii}=R_{ii}+jQ_{ii}, \quad (1)$$

где R_{ii} и jQ_{ii} – соответственно активная (вещественная) и реактивная составляющие общего виброакустического импеданса колонны и узлов ее связи с другими смежными элементами технической конструкции.

2. Примем вариант наличия идеальной виброакустической изоляции фундаментов колонн между собой. В этом случае импеданс этой связи можно будет принять равным бесконечности, то есть

$$V_{ij}=\infty. \quad (2)$$

3. Рассмотрим случай, когда внешняя силовая динамическая нагрузка действует только через основание на фундамент колонны N4. То есть только $F_4 \neq 0$, как показано на рис. 4.

Тогда схему можно упростить до вида, представленного на правой схеме рис. 4.

Воспользуемся дуальными или инверсными электромеханическими аналогиями. Это связано с тем, что в данном случае применение дуальных аналогий позволяет без дополнительных физико-математических манипуляций преодолеть динамически неопределимый статус конструкции объекта.

В соответствии с дуальными электромеханическими аналогиями силовая динамическая нагрузка F_{ij} будет соответствовать переменному электрическому току I_{ij} и, согласно закону Ома, будет создавать на ij -том элементе конструкции скорость деформаций (скорость перемещений) v_{ij} , эквивалентную электрическому напряжению U_{ij} .

Тогда, согласно закону Ома, следует, что

$$F_{ij}=v_{ij}/(R_{ij}+jQ_{ij}). \quad (3)$$

С другой стороны, согласно закону Кирхгофа сумма токов в узлах электрической цепи должна быть равна нулю. То есть сумма входящих в узел токов должна быть строго равна сумме выходящих из него токов.

Тогда, согласно закону Кирхгофа, для каждого узла соединений на рис. 4 должно выполняться алгебраическое равенство, например:

$$F_{ii}=F_{i(i-1)}+F_{i(i+1)}. \quad (4)$$

Так как конечной целью данной динамической задачи является определение значений силовых динамических нагрузок и скоростей деформаций (перемещений) на элементах конструкции объекта на рис. 1, то при известных виброакустических импедансах этих элементов число неизвестных в этой задаче будет равно 32 (16 неизвестных силовых динамических нагрузок и 16 неизвестных скоростей динамических деформаций). Поэтому для решения данной задачи составим систему из 32 уравнений.

Для этого, используя выражения (3), (4) и схему на рис. 4, получим следующую систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned}
 & \mathbf{F}_{ij} = \mathbf{F}_{j(j+1)} - \mathbf{F}_{jj}, (i \neq j, j \neq 4) - \text{в соответствии с} \\
 & \text{законом Кирхгофа} \\
 & \mathbf{F}_{44} = \mathbf{F}_4 - \text{условие приложения внешней нагрузки} \\
 & \mathbf{v}_{ij} = \mathbf{F}_{ij} (\mathbf{R}_{ij} + \mathbf{jQ}_{ij}) - \text{в соответствии с} \\
 & \text{законом Ома} \\
 & \mathbf{F}_{44} = \mathbf{F}_{11} + \mathbf{F}_{22} + \mathbf{F}_{33} + \mathbf{F}_{55} + \mathbf{F}_{66} + \mathbf{F}_{77} + \mathbf{F}_{88} - \text{условие} \\
 & \text{баланса силовых нагрузок} \\
 & \mathbf{v}_{ii} = \mathbf{v}_{i(i+1)} + \mathbf{v}_{(i+1)(i+1)} - \text{условие неразрывности} \\
 & \text{связей в узлах конструкции}
 \end{aligned} \right\} . (5)$$

Такая система (5) имеет решение, так как содержит более 32 уравнений.

Аналогичный подход для решения рассматриваемой динамической задачи может быть реализован не только для упрощенной модели, но и для реального случая, когда, например, микросейсмическая, ударная или вибродинамическая нагрузка поступает одновременно, но с разной интенсивностью на фундаменты всех колонн. В этом, наиболее распространенном в практике случае необходимо регистрировать (измерять) все внешние эталонные динамические нагрузки $\mathbf{F}_i \neq 0 \forall (i = 1, 2, 3, \dots, 8)$ на фундаменты колонн объекта. Затем задача оценки силовых нагрузок на элементах и стыках конструкции выполняется в два этапа.

На первом этапе, в соответствии с вышеизложенной методикой, для каждой отдельно взятой i -той нагрузки проводится расчет, созданных ею нагрузок на элементах и узлах конструкции. При этом нагрузки на остальные фундаменты сооружения условно принимаются равными нулю.

На втором этапе вычислений в каждом элементе и узле конструкции проводят сложение всех нагрузок, соответствующих этим элементам и узлам, в том числе полученных на первом этапе.

Используя эквивалентную виброакустическую модель на рис. 3, методом вибродинамических испытаний каждого элемента и узла технической конструкции можно провести метрологическую верификацию АЧХ каждого элемента и узла связи конструкции, а затем по этим АЧХ получить значения их импедансов в виде функций от частоты или спектра динамической нагрузки.

Таким образом, виброакустический метод теоретического моделирования технической конструкции сооружения (объекта) для целей автоматизированного мониторинга параметров безопасности оказывается доступным для практического использования квалифицированным инженерно-техническим персоналом на различных объектах промышленной техносферы.

Заключение

В статье предлагается решение проблем безопасности функционирования АСУТП, которые могут стать источниками сверхпроектных механических

Некоторые здания важные, потому что большие, а некоторые - потому что в них воспоминания.

Кит Стюарт

динамических нагрузок на строительные конструкции производственных зданий и сооружений, например, в машиностроении, металлургии и в атомной энергетике.

Источниками таких сверхпроектных нагрузок являются как исполнительные механизмы АСУТП, так и сами технологические процессы, которые также могут стать источниками достаточно интенсивных виброакустических воздействий на элементы строительных конструкций.

В связи с этим представляется перспективным предложение о введении в АСУТП подсистем автоматического контроля (мониторинга) как интенсивности таких нагрузок, так и их распределения на элементах строительных конструкций расчетным методом косвенных измерений.

Применение метода виброакустических аналогий для автоматического динамического мониторинга и расчета технического состояния сложнопостроенных конструкций при косвенных измерениях является одним из перспективных направлений расчетного моделирования в системах многоточечного автоматического мониторинга. Преимущества этого метода связано с универсальностью теории и инструментальных средств расчетного моделирования электрических систем и цепей, который по аналогии также может быть применен при моделировании динамических характеристик сложных механических систем с распределенными параметрами.

Этот инструментарий сохраняет свою универсальность также при автоматическом мониторинге с последующим расчетным моделированием динамических нагрузок статически и динамически неопределимых механических систем строительных конструкций промышленных зданий и сооружений автоматизированных производств.

Первым шагом для корректного расчетного моделирования необходимо провести модальный анализ возможных форм колебаний конструкций, а затем для каждой моды построить соответствующую схему их нагружения.

При таком подходе формируется методически обоснованная база и исходные параметры для разработки заданий для экспериментальной сертификации модальных динамических характеристик элементов конструкций объектов техносферы.

Для монолитных железобетонных конструкций (несущего каркаса промышленного здания или сооружения) процедура сертификации может быть выполнена после заливки и набора прочности такими конструкциями.

Показано, что корректное построение расчетных динамических моделей технических конструкций, в том числе с использованием виброакустических аналогий, является одним из эффективных методов как для автоматического расчета динамической устойчивости, так и для автоматизированной интерпретации данных натурного динамического мониторинга технического состояния конструкций объектов техносферы и оценки оператором АСУТП эволюции их реальной динамической устойчивости и безопасности.

Список литературы

1. Иванов И.П., Чеповский А.М. Программные средства обработки результатов расчетов в инженерных пакетах Ansys CFX и Abaqus для высокопроизводительных вычислительных установок. Изд. ЛитРес. 2016. 193 с.
2. Белостоцкий А.М., Вершинин В.В. Разработка верификационного отчета по использованию программного комплекса Abaqus для решения задач технического профиля. Т. 1. Теоретические основы. Москва. НИУ МГСУ. 2013. 268 с.
3. Подувальцев В.В. О проблемах метрологического обеспечения, стандартизации, менеджменте качества, сертификации и методах инструментального контроля//Энциклопедический справочник. 2015. № 4. Приложение «Комментарии к стандартам, ТУ, сертификатам». С. 26-31.
4. Hlystunov M.S., Prokopiev V.I., Mogilyuk Z.G. The numerical models spectral phantoms in solid mechanics // Procedia Engineering. Vol. 111. 2015. P. 297-301.
5. Prokopiev V.I., Hlystunov M.S., Mogilyuk Z.G. Dynamic error of the FEM and the point sources method // Procedia Engineering. Vol. 111. 2015. P. 666-671.
6. Подувальцев В.В., Хлыстунов М.С., Могилюк Ж.Г. Достоверность результатов динамических обследований зданий и сооружений // Измерительная техника. № 8. 2013. С. 9-11.
7. Poduval'tsev V.V., Hlystunov M.S., Mogilyuk Zh.G. Reliability of the results of dynamic inspections of buildings and structures. Measurement Techniques. Vol. 56, No. 8, November, 2013, pp. 846-849.
8. Подувальцев В.В., Хлыстунов М.С., Могилюк Ж.Г. 77-30569/252202 Метрологические характеристики численного моделирования и расчета резонансных частот методом конечных элементов // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2011. № 12. С. 55.
9. Подувальцев В.В., Хлыстунов М.С., Могилюк Ж.Г. Исследование адекватности цифровых технологий мониторинга объектов техносферы // Безопасность в техносфере. № 2. 2014. С. 14-17.

Могилюк Жанна Геннадиевна – канд. техн. наук, доцент, руководитель Центра фундаментальных и прикладных исследований надежности строительных объектов,

Хлыстунов Михаил Сергеевич – канд. техн. наук, проф., заведующий Отраслевой научно-исследовательской лабораторией Роскосмоса в Национальном исследовательском Московском государственном строительном университете

Подувальцев Владимир Васильевич – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры метрологии и взаимозаменяемости Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана.
E-mail: dpsskmsgu@mail.ru vvpoduval@mail.ru mcxmsgu@mail.ru

Участники воркшопа СИБУРа «Цифровизация производства» в Томске знают, как с помощью digital-решений повысить надежность работы оборудования

В рамках научного форума U-NOVUS в Томске эксперты компании СИБУР провели воркшоп «Цифровизация производства». В течение трех дней команда из представителей томских компаний, научно-технических центров вузов, студентов и магистрантов, а также технологов производств ООО «Томскнефтехим» (томское предприятие СИБУРа) и ИТ-специалистов компании работали над моделью системы предиктивного мониторинга работы оборудования.

Система способна информировать о потенциальной остановке оборудования на основе алгоритмов работы с большим объемом данных, что позволит усилить контроль над функциональным состоянием оборудования и повысить надежность высокотехнологичного производства.

Прототип разработки был представлен 12 октября во время подведения итогов серии воркшопов U-NOVUS 2018 г. с участием губернатора Томской области Сергея Жвачкина.

В настоящее время в Томске действует Центр цифровых технологий СИБУРа. Его специалисты работают над задачами предприятий компании в ряде регионов её

деятельности, в том числе над представленным в рамках воркшопа направлением - предиктивной аналитикой.

По итогам форума принято решение включить разработку системы предиктивной аналитики работы оборудования СИБУРа в обновленную «дорожную карту» Центра образования, исследований и разработок («ИНО Томск 2020»), концепция создания которой в Томской области была одобрена Правительством РФ. Дополнения в концепцию будут внесены рабочей группой до конца 2018 г., реализация обновленного проекта «ИНО Томск» начнется в 2019 г.

В пятом форуме U-NOVUS приняли участие более 3,5 тыс. человек, в том числе 600 специалистов. Программа форума вместо традиционных панельных дискуссий, круглых столов и докладов включала воркшопы, нетворкинг и дизайн-сессии. Основные темы кейсов – цифровизация, зеленые технологии, новые материалы, кросс-индустриальное взаимодействие.

СИБУР выступил одним из партнеров форума, более 30 сотрудников предприятий компании – «ИТ-СИБУР», R&D-центра СИБУРа «НИОСТ» и «Томскнефтехима» приняли участие в работе форума в качестве экспертов и слушателей.

[Http://www.sibur.ru](http://www.sibur.ru)