

УДК 621.644

С. М. БОБРИЦКИЙ

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

КОНЦЕПЦИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ВРЕМЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ, НАХОДЯЩИХСЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ НАГРУЗОК РАЗНОЙ ПРИРОДЫ

Представлены традиционные методы расчетов технических объектов (временных сооружений) и нормативные нагрузки разной природы (постоянные, временные и др.). Предложен концептуальный подход к индивидуальному формированию структуры временных технических объектов на основе динамично развивающихся междисциплинарных подходов к оценке несущей способности, позволяющих учесть воздействия нагрузок разной природы.

Ключевые слова: технический объект, временные сооружения, местные материалы, формообразование, имитационное моделирование, нагрузки разной природы.

Введение. На современном этапе развития техники формирование структур технических объектов на базе математического моделирования достаточно широко применяется в машино- и приборостроении [1–4]. В значительно меньшей степени оно используется при проектировании мостовых сооружений. В отличие от капитальных временные мостовые сооружения имеют более гибкую систему ограничений по восприятию и передаче всех видов нагрузок, определяемых нормативными требованиями [5–7]. Основной отличительной особенностью временных сооружений является создание индивидуальных конструктивных решений, разрабатываемых под заданные условия пропуска поездных нагрузок и ограниченный срок эксплуатации сооружения или его отдельных элементов (пролетных строений, опор). Потребность во временных мостовых сооружениях возникает как при обеспечении капитального строительства, реконструкции и ремонте зданий и сооружений [8] так и при восстановлении поврежденной транспортной инфраструктуры в результате стихийных бедствий, чрезвычайных ситуаций [9], а также вооруженных конфликтов [7, 10].

Постановка задачи. Основными методами расчетов несущих элементов конструкций на силовые воздействия, представленные в [4, 5], являются методы предельных состояний первой и второй групп.

Первая группа предельных состояний подразумевает оценку непригодности к эксплуатации из-за потери несущей способности или по необходимости прекращения эксплуатации (без потери несущей способности). Недопущение наступления предельных состояний по первой группе следует обеспечивать расчетами на прочность конструкций (в том числе на выносливость и устойчивость формы), на устойчивость конструкций против опроки-

дывания и сдвига, на прочность грунтовых оснований на жестких опорах, плавучесть и остойчивость на плавучих опорах. Для временной нагрузки от транспортных средств дополнительно принимаются во внимание динамические коэффициенты.

Вторая группа предельных состояний включает расчеты несущих элементов мостовых сооружений под нормативные показатели веса и проектные скорости транспортных средств, затрудняющие нормальную эксплуатацию, но не требующие ее прекращения. Чтобы не допустить наступления предельных состояний второй группы, следует выполнить расчет перемещений конструкций. Значения усилий, напряжений, деформаций, перемещений и других факторов при невыгодном расположении и сочетании расчетных нагрузок не должны превышать установленных нормами расчетных значений несущей способности расчетных сопротивлений, предельных деформаций, перемещений, плавучести, остойчивости и др. Обеспечение запаса прочностных характеристик несущих элементов временных сооружений осуществляется за счет введения в расчетные нагрузки коэффициентов перегрузок, а для увеличения безопасности, связанной с неоднородностью материала, применяются коэффициенты надежности и условий работы.

Перечень нагрузок, учитываемых при расчете элементов конструкций временных сооружений по группам предельных состояний в соответствии с [4, 5], приведен в таблице 1. Сочетания различных нагрузок используются при расчете элементов конструкций временных мостовых сооружений на жестких и плавучих опорах в зависимости от вероятности одновременного их воздействия.

Математический аппарат для определения расчетных усилий, напряжений, деформаций и других факторов, указанных в действующих нормативных документах [4–6], составляют известные традиционные методы сил и перемещений. При этом для каждого несущего элемента конструкции необходимо отдельно разрабатывать расчетную схему загрузки с граничными условиями на концах рассматриваемых элементов. Кроме того, с целью упрощения расчетов вводятся названные выше коэффициенты, которые корректируют как расчетные значения действующих нагрузок, так и расчетное сопротивление материала. Такие подходы не отражают полной картины напряженно-деформированного состояния конструкций, особенно при массовом сочетании нагрузок.

В связи с этим, а также учитывая уровень развития современной науки и технических средств диагностики физико-механических свойств материалов и конструкций, становится актуальной задача адаптации накопленного в последние годы и динамично развивающегося научно-методического аппарата к решению проблемы формирования структур временных технических объектов, а также ускоренной прогнозной оценки срока их безотказной эксплуатации.

Таблица 1 – Нагрузки, учитываемые при расчете временных (краткосрочных) мостовых сооружений

Нагрузки	Временное мостовое сооружение	
	на жестких опорах	на плавучих опорах
<i>Постоянные</i>		
Собственный вес конструкции	+	+
Воздействие предварительного напряжения	+	+
Давление грунта от веса насыпи	+	+
Гидростатическое давление воды	+	+
Воздействие осадки грунта	+	–
<i>Временные</i>		
Вертикальные	+	+
Давление грунта от транспортного средства	+	+
Горизонтальная поперечная нагрузка от центробежной силы	+	–
Горизонтальные поперечные удары от транспортного средства	+	–
Горизонтальная продольная нагрузка от торможения и силы тяги	+	+
<i>Прочие временные</i>		
Ветровая	+	+
Ледовая	+	–
Нагрузка от навала судов	+	–
Гидродинамическое давление воды	–	+
Волновое воздействие	–	+
Воздействие колебаний температуры	+	–
Строительные нагрузки	+	+
Сейсмические	+	–

Метод исследования. Инструментами реализации поставленной задачи на первом этапе могут служить предлагаемый концептуальный подход и адаптированные под решение определенных задач математические методы.

В качестве концептуального подхода на первом этапе разработки предлагается укрупненная модель исследования, схема которой представлена на рисунке 1. Она включает отдельные блоки и учитывает логическую последовательность и взаимозависимость выполняемых процессов.

Рассмотрим отдельно каждый блок укрупненной модели и взаимосвязь их между собой.

В блоке *характеристика условий работы технического объекта* определяются основные задачи, выполнение которых должен обеспечивать объект в конкретных условиях использования. К ним относятся: вид поездной (пешеходной) нагрузки, габариты, скорость движения, климатический район (сезон), условия местности на основе проведенных изысканий (водная преграда, равнина, сложные грунтовые основания и др.), срок временной эксплуатации.

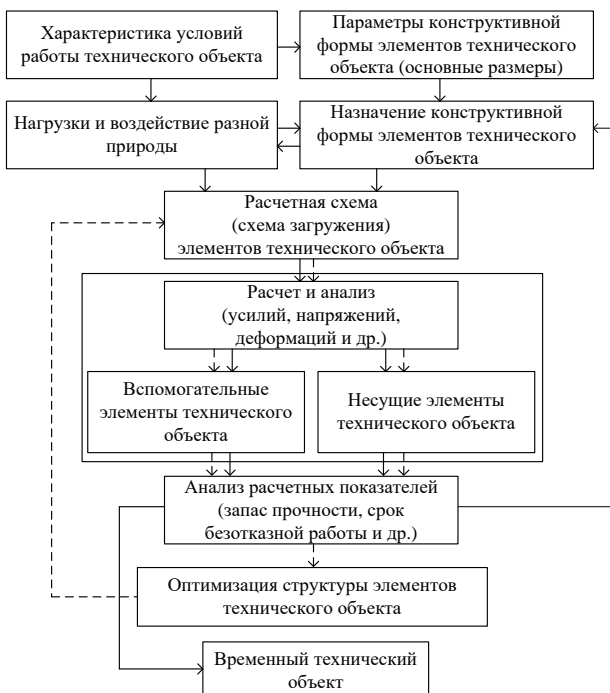


Рисунок 1 – Укрупненная схема концептуального подхода формирования структуры временных технических объектов от воздействия нагрузок разной природы

В блоке *параметры конструктивной формы элементов технического объекта* на основе имеющихся гидрогеологических и геодезических инженерных изысканий, а также заданных габаритов из условия пропускания пешеходной нагрузки осуществляется подбор основных параметров элементов технического объекта (граничные размеры элементов: длина, ширина, высота).

В блоке *назначение конструктивной формы элементов технического объекта* при использовании имеющихся в наличии инвентарных и местных материалов в виде различных конструктивных решений или сортаментов выполненных из различных материалов (сталь, древесина, бетон, железобетон, полимеры и др.) и с учетом требований, содержащихся в первых двух рассмотренных выше блоках, назначаются отдельные или составные элементы выбранной конструктивной формы.

Блок *нагрузки и воздействие разной природы* предполагает выбор расчетных значений от воздействия нагрузок как по отдельности, так при их сочетании исходя из характеристик выбранной конструктивной формы отдельного или составного элемента технического объекта (собственный вес, геометрия и др.) и условий работы.

В блоке *расчетная схема (схема загрузки) элементов технического объекта* к назначенному элементу в зависимости от его типа (стержневого, пластинчатого) составляется расчетная схема с обозначением действующих нагрузок и локальных закреплений (перемещений).

В следующем блоке выполняется *расчет и анализ (усилий, напряжений, деформаций и др.)* несущих и вспомогательных элементов технического объекта с использованием современных математических моделей расчета усилий, напряжений, деформаций и др. Здесь на основе полученных результатов производится анализ состояния элемента под нагрузками (определение его запаса прочности, прогнозирование долговечности и другие интересующие показатели). Если полученные результаты не удовлетворяют хотя бы одному из заданных параметров, то принимается решение о замене или частичной корректировке формы конструкции элемента или его материала и производятся повторные исследования, последовательность которых приведена на рисунке 1 (направление прямой линией). Если расчетные значения обеспечивают значительный запас прочности и долгосрочную эксплуатацию, то может быть принято решение об оптимизации конструктивной формы.

В блоке *оптимизация структуры элементов технического объекта* осуществляется корректировка размеров сечений элементов в областях минимальных напряжений. Также могут назначаться упрощенные требования к материалу и др.). Это требуется для уменьшения массы и стоимости изготовления элементов конструкций. При необходимости здесь могут быть использованы современные наработки в области оптимизации топологии конструкций [11–13]. Далее после проведенных мероприятий по оптимизации структуры элементов осуществляются повторный расчет и анализ по схеме (см. рисунок 1, по направлению штриховой линии).

В случае, если полученные расчетные значения элементов конструкций полностью удовлетворяют заданным эксплуатационным характеристикам, то структура формообразования технического объекта считается законченной.

Выводы. Осуществление представленного в статье концептуального подхода к индивидуальному формированию структуры временных технических объектов от воздействия нагрузок разной природы может быть реализовано путем использования накопленного опыта проектирования конструктивных решений временных технических объектов, междисциплинарного подхода к решению поставленной задачи [10], методов имитационного моделирования с использованием современных программных средств (ANSYS, T-FLEX, MATLAB и др.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Reddy, C. P. Automated optimum design of machine tool structures for static rigidity, natural frequencies and regenerative chatter stability / C. P. Reddy, S. S. Rao // ASME Journal of Engineering for Industry. – 1978. – Vol. 100, is. 2. – P. 137–146.

2 **Атапин, В. Г.** Проектирование рациональных несущих конструкций многоцелевых станков / В. Г. Атапин // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2008. – № 4 (41). – С. 18–25.

3 Формализованное описание технологических возможностей проектируемых станков в рамках методологии структурно-параметрического синтеза / В. В. Куц [и др.] // *Известия Юго-Западного государственного университета. Сер. Техника и технологии*. – 2013. – № 1. – С. 80–84.

4 **Farkas, J.** *Analysis and Optimum Design of Metal Structures* / J. Farkas, K. Jármai. – Berlin : Springer, 2013. – 265 p.

5 Инструкция по проектированию железнодорожных временных и краткосрочных мостов и труб (ПВКМ-79). – М. : ВНИИ трансп. стр-ва, 1982. – 215 с.

6 Инструкция по проектированию железнодорожных наплавных мостов и паромных переправ (ПНМ-79). – М. : МТС, 1980. – 87 с.

7 **Бобрицкий, С. М.** Временное восстановление железнодорожных мостов : учеб. пособие / С. М. Бобрицкий, А. А. Поддубный, К. В. Махаев. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 218 с.

8 **Бобрицкий, С. М.** Проектирование конструкций временных сооружений и устройств для строительства и восстановления мостов : учеб. пособие / С. М. Бобрицкий. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 215 с.

9 Особенности прогрессирующего разрушения применительно к мостовым сооружениям / В. Б. Караханян [и др.] // *Транспортные сооружения*. – 2020. – Т. 7, № 2. – Статья 12SATS220. – 20 с.

10 **Бобрицкий, С. М.** Подходы к проектированию сборно-разборных временных мостов из местных материалов // С. М. Бобрицкий, А. О. Шимановский // *Механика. Исследования и инновации*. – 2021. – Вып. 14. – С. 11–16.

11 **Her, Y. J.** A Study on the Topology Optimization of the Fixed Address Type ATC Frame Using a Real Number Coding Genetic Algorithm / Y. J. Her, S. H. Lim, C. M. Lee // *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*. – 2004. – Vol. 21, no. 9. – P. 174–181.

12 Sizing and Topology Optimization of Trusses Using Genetic Algorithm / I. Delyová [et al.] // *Materials*. – 2021. – Vol. 14, is. 4. – Article 715. – 14 p.

13 **Wu, J.** Topology optimization of multi-scale structures: a review / J. Wu, O. Sigmund, J. P. Groen // *Structural and Multidisciplinary Optimization*. – 2021. – Vol. 63. – P. 1455–1480.

S. M. BABRYTSKI

Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus

THE INDIVIDUAL FORMATION CONCEPT FOR THE TEMPORARY TECHNICAL OBJECTS STRUCTURE UNDER THE INFLUENCE OF LOADS OF DIFFERENT NATURES

Traditional methods for calculating technical objects (temporary structures) and standard loads of different nature (permanent, temporary, etc.) are presented. There is proposed a conceptual approach to the individual formation of temporary technical objects structure based on dynamically developing interdisciplinary approaches to bearing capacity assessing, allowing to take into account the effects of loads of different nature.

Keywords: technical object, temporary structures, local materials, shaping, simulation modeling, loads of different nature.

Получено 24.10.2023