

О РАЗРАБОТКЕ НОРМ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ЗАСЫПНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ИЗ ГОФРИРОВАННОГО МЕТАЛЛА

Появление и развитие численных методов решения дифференциальных уравнений создало практическую возможность создания математической модели гофрированной трубы, а развитие вычислительной техники донесло эту возможность до стола каждого инженера.

Засыпные транспортные сооружения из гофрированного металла, рассчитанные по отечественным нормам, существенно уступают по несущей способности своим зарубежным аналогам. Упрощенные формулы, входящие в состав норм, имеют более узкую область применения и не отражают всех аспектов работы конструкции. Гибкая оболочка, засыпаемая уплотняемым послойно грунтом, вступает с ним в тесную связь, и такая система едва ли может быть точно описана простой арифметической формулой. По всей видимости, в настоящее время нецелесообразно стремиться вывести такую формулу.

Начиная с 17-го века стараниями И. Ньютона, Г. Лейбница, Л. Эйлера, К. Гаусса и многих других ученых создается математическая физика, дифференциальные уравнения которой позволяют описывать любые явления, наблюдаемые в природе. Применительно к гофрированным водопропускным трубам это уравнения теории упругости и пластичности, уравнения гидродинамики, диффузии и теплопроводности, которые позволяют моделировать все аспекты работы трубы:

- 1) Напряженное состояние гофрированной оболочки;
- 2) Устойчивость системы «конструкция-грунт»;
- 3) Пропуск воды;
- 4) Воздействие низких температур, в частности, наледеобразование;
- 5) Устойчивость при сейсмическом воздействии.

В настоящее время существует большое количество программ, позволяющих численно решать уравнения

математической физики с помощью метода конечных элементов. Есть специальные программы, решающие узкий класс задач: расчет строительных конструкций, расчет задач механики грунтов, гидродинамики. Есть универсальные программы, позволяющие моделировать любые системы и явления, но требующие высокой квалификации исследователя. Как универсальные, так и специальные программы бывают не только коммерческие, но и бесплатные, что, однако, не снижает их эффективности и функциональности.

Можно утверждать, что в настоящее время инженеру доступно моделирование практически любых систем, в том числе и засыпных конструкций из гофрированного металла с учетом всех аспектов их работы. Но при этом, по ряду причин применение программ решения уравнений математической физики для расчета гофрированных конструкций в России пока невозможно.

Основная проблема заключается в том, что расчетчик не может создать адекватную модель. Даже если ограничиться расчетами прочности металла и устойчивости системы «конструкция-грунт», то соответствующая модель должна отражать реальное поведение грунтов основания, обоймы и насыпи, а также нелинейные деформации металлической гофрированной оболочки. Для теплотехнических расчетов требуется задать температурный режим местности и соответствующие параметры грунтов. Как правило, достоверно известны характеристики только для металла оболочки, остальные параметры могут быть подобраны в результате масштабной исследовательской работы, на которую, как правило, нет вре-

мени и средств. Но даже если сроки позволяют заняться исследованиями, инженеру, скорее всего, не хватит квалификации, поскольку его образование не предполагало знакомство с методами математической физики.

Единственный способ решить указанную проблему – это выпустить нормативы и справочную документацию, где давалась бы исчерпывающая информация о том, как создать модель и как при строительстве обеспечить соответствие работы сооружения принятой модели. Такая документация может быть выпущена в форме свода Правил или Стандарта предприятия, но независимо от формы она должна отражать следующие моменты.

Расчет несущей способности трубы следует представить тремя методиками: расчет по формулам, линейный расчет методом конечных элементов, нелинейный расчет методом конечных элементов. Для каждой методики необходимо указать область применения, причем, если сооружение может быть рассчитано по любой методике, то наиболее точная должна давать большую высоту насыпи.

Расчет по формулам может быть заимствован из ВСН 176-78, при этом следует расширить область применения формул приложения 11 для расчета конструкции по предельному равновесию. Коэффициент увеличения несущей способности $K_{ув}$ следует откорректировать пользуясь методикой, изложенной в главе III книги «Металлические гофрированные трубы под насыпями» (авторы Колоколов Н.М., Янковский О.А., Щербина К.Б., Черняховская С.Э. – М., Транспорт) и разделе VI.3 книги «Водопропускные трубы под насыпями» (авторы Артамонов Е.А., Волченков Г.Я., Клейнер Р.С. и др.; под ред. Янковского О.Я. – М., Транспорт), с учетом всей современной номенклатуры гофров и сталей. Расчетная несущая способность трубы вне грунта q_1, p

должна быть уточнена с учетом реальной прочности применяемых сталей.

Линейный расчет гофрированной конструкции методом конечных элементов может быть реализован в любом современном расчетном комплексе. При этом не следует ограничиваться чисто линейным расчетом. Высокая гибкость гофрированной конструкции позволяет ей работать за пределом упругости, что в программах линейного расчета можно осуществить за счет простейшей итерационной процедуры, которая легла в основу вывода формулы определения несущей способности, рекомендованную ВСН (Инструкция по проектированию и постройке металлических гофрированных водопропускных труб). В нормативах следует рассмотреть два способа моделирования окружающую конструкцию грунта: линейно-деформируемая среда и упругие связи. Для первого способа необходимо дать рекомендации по назначению размеров модели грунтового массива, модуля упругости и коэффициента Пуассона. Для второго способа следует дать методику определения жесткости связей и порядок их выключения при проведении итерационной процедуры.

Нелинейный расчет методом конечных элементов должен быть основан на применении достоверных моделей работы материала трубы и окружающих ее грунтов с учетом стадийности производства работ. В нормативах следует указать и четко описать рекомендуемые модели грунтов и материала гофра, области их применения. Параметры любой рекомендуемой модели должны быть привязаны к реальным параметрам применяемых грунтов и стали, которые можно проконтролировать и обеспечить в процессе строительства.

Другая проблема, способная свести на нет все старания ученых и проектировщиков по созданию расчетно-теоретической базы, это низкое качество работ при возведении гофрированной трубы. В действующих нормах достаточно подробно отражен порядок работ и требования к нему. При этом достоверно известно, что качество и степень уплотнения грунта существенно влияет на несущую способность трубы. В соответствии с Канадскими нормами (см. напр. Handbook of Steel Drainage and

Highway Construction Products. – AISI, CSPI) снижение степени уплотнения с 95% до 85% от стандартной плотности по Проктору приводит к уменьшению модуля упругости грунта в 4 раза, при этом расчетная несущая способность трубы снижается более чем в 2 раза. Разработка новых нормативов едва ли может помочь решению данной проблемы. Здесь можно только рекомендовать проектировщикам плотнее работать со строителями и убеждать последних уделять больше внимания качеству работ по сборке трубы и уплотнению грунтовой обоймы.

При разработке новой системы норм по расчету и строительству засыпных транспортных сооружений из гофрированного металла не следует приводить, как это делалось раньше, торговые марки материалов, изделий и строительных машин, так же не следует четко привязывать их к конкретному типу гофра и стали. Для всех применяемых материалов нужно разработать классификацию и систему показателей качества, методики оценки этих показателей и увязать их с расчетными данными. Для грунта засыпки это может быть его классификация по гранулометрическому составу, в зависимости от которой и от степени уплотнения грунта в расчетном разделе норм будет указано каким следует принять модуль упругости и другие расчетные характеристики. Соответственно в разделе норм по производству работ должна быть приведена методика контроля плотности, а в разделе норм по требованиям к материалам должна быть указана методика оценки гранулометрического состава грунта. Аналогичные данные должны быть приведены для гофрированного металла, материала гидроизоляции, лотка, бетонных блоков, элементов

скреплений и утеплителя (для районов распространения вечной мерзлоты).

В новой системе норм следует предусмотреть все возможные случаи применения засыпных транспортных сооружений на территории России: различные климатические зоны, условия наледообразования, сейсмика, вечномерзлые грунты, пропуск сквозь сооружение воды, транспортных средств и пешеходов.

Начиная разработку отечественных нормативов по расчету и строительству засыпных транспортных сооружений из гофрированного металла надо иметь в виду, что во многих зарубежных странах несколько десятилетий ведется научно-исследовательская работа, уже имеются и успешно применяются собственные нормы и расчетные программы. Поэтому начинать работу следует с обобщения зарубежного опыта; однако заимствование зарубежного опыта не должно превратиться в слепое копирование. Можно заимствовать у наших зарубежных коллег теоретические основы расчета, принципы проектирования, однако все остальное нуждается в привязке к нашим, отечественным, реалиям.

Создание стройной системы норм пусть даже в одной узкой области – это огромный труд, сопряженный с серьезными финансовыми вложениями. Для решения этой задачи, как показывает опыт наших зарубежных коллег, требуется не один год, однако все затраты вернутся сторицей при массовом строительстве быстровозводимых, надежных и недорогих в эксплуатации засыпных транспортных сооружений из гофрированного металла

А.А. ЖИНКИН,

Начальник проектной группы
ОАО «Трансмост»

