Литература

1. Ключев, В. И. Теория электропривода : учеб. для вузов / В. И. Ключев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 2001. – 704 с. : ил.
2. Фираго, Б. И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б. И. Фираго, Л. Б. Павлячик. – Минск : Техноперспектива, 2006. – 363 с.
3. Асинхронные двигатели общего назначения / Е. П. Бойко [и др.] ; под ред. В. М. Петрова и А. Э. Кравчика. – М. : Энергия, 1980. – 254 с.
4. Виноградов, В. И. Вентиляторы электрических машин / В. И. Виноградов. – Л. : Энергоиздат, 1980. – 200 с. : ил.

УДК 629.4.015

**РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ
ПРОЧНОСТИ ВАГОНА-ЦИСТЕРНЫ С УЧЕТОМ СИЛОВОГО
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ПЕРЕВОЗИМЫМ ЖИДКИМ ГРУЗОМ
В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS WORKBENCH**

И. И. Архутик, А. В. Пуцято

*Учреждение образование «Белорусский государственный
университет транспорта», г. Гомель*

Целью работы является разработка компьютерной модели несущей конструкции железнодорожного вагона-цистерны для перевозки нефтепродуктов, позволяющей определять ее напряженно-деформированное состояние с учетом силового взаимодействия упругих стенок котла вагона с относительно подвижным жидким грузом. В качестве объекта исследования выбрана модель вагона-цистерны 15-1443, конструкция котла и рамы которой усилена в соответствии с рекомендациями, предусмотренными при выполнении капитально-восстановительного ремонта.

Создание модели выполнялось в программном комплексе конечно-элементного анализа *ANSYS Workbench* с использованием *FSI (fluid-structure interaction)* анализа, основанного на одновременном использовании двух модулей программы: *Transient Structural (ANSYS)*, обеспечивающий решение задачи прочности; *Fluid Flow (CFX)*, обеспечивающий решение задачи гидродинамики. Таким образом, учет силового взаимодействия упругих стенок котла вагона и перевозимого жидкого груза достигается путем решения связанных дифференциальных уравнений: механики деформируемого твердого тела и гидродинамики жидкого груза (используются уравнения Навье–Стокса и неразрывности). Разработка геометрических моделей металлоконструкций котла и рамы, а также объема жидкости в котле выполнена средствами графического построения программы *ANSYS* с использованием комплекта чертежей вагона. Кинематические и силовые граничные условия внешних связей приняты в соответствии с особенностями конструктивного исполнения вагона. Установлено ограничение продольного перемещения в упорах автосцепного устройства, поперечного перемещения в области пятника, а также вертикального перемещения в области пятника и опор на скользуны тележки.

Важным шагом при создании расчетных моделей для взаимосвязанного междисциплинарного анализа является задание поверхности сопряжения (взаимодействия) жидкости и конструкции. В рамках этого подхода весь процесс расчета разбивается на интервалы, число которых зависит от принятого шага по времени, принимаемого исходя из размеров конечных элементов и средней скорости движения жидкости при переходном режиме. Учитывая разработанные конечноэлементные модели и опыт расчета гидродинамики жидкости в котле цистерны, в нашем

случае для обоих решателей шаг по времени Δt принят равным 0,01 с. В то же время несмотря на то, что общая расчетная схема носит нестационарный характер, временные шаги могут быть различными.

Используемый алгоритм решения связанной задачи следующий. На первом шаге выполняется расчет прочности котла при гидростатическом давлении на внутренней поверхности. Затем полученные на этом шаге перемещения передаются в модуль *CFX*, где решается задача гидродинамики с учетом перемещений соответствующих узлов поверхности взаимодействия. Найденные узловые силы (давления жидкости) на поверхности взаимодействия передаются в прочностной модуль, и выполняется расчет с системой сил, соответствующей новому положению жидкого груза. Далее информация о деформации конструкции передается в модуль для расчета гидродинамики и цикл расчетов и обмена информацией повторяется до заданного конечного времени.

Разработанную модель планируется использовать для оценки прочностных характеристик котла и рамы с целью определения степени влияния подвижности жидкого груза на долговечность несущей конструкции вагона.

УДК 629.463.2

НАГРУЖЕННОСТЬ ТОРЦЕВЫХ СТЕН КУЗОВОВ ВАГОНОВ-ХОППЕРОВ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

В. И. Сенько, А. В. Пигунов, П. М. Афанаськов

Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

В настоящее время на территории стран СНГ расчет новых конструкций вагонов и оценку остаточного ресурса вагонов, находящихся в эксплуатации, регламентируют Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) 1996 г. и ГОСТ 33211–2014 «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам». При определении давления, действующего на торцевые стенки кузова хоппера для перевозки минеральных удобрений модели 11-740, получены следующие значения:

– для сульфата аммония – 12860 и 15550 Па, для I и III режимов соответственно (насыпная плотность – 0,9 т/м³, угол естественного откоса – 0,87 рад, угол трения – 0,5 рад);

– для суперфосфата двойного – 16970 и 20520 Па, для I и III режимов соответственно (насыпная плотность – 1,1 т/м³, угол естественного откоса – 0,78 рад, угол трения – 0,5 рад);

– для фосфористой муки – 20060 и 24250 Па, для I и III режимов соответственно (насыпная плотность – 1,3 т/м³, угол естественного откоса – 0,78 рад, угол трения – 0,5 рад);

– для минеральных удобрений комбинированных (нитрофоска) – 15990 Па и 19340 Па, для I и III режимов соответственно (насыпная плотность – 1,0 т/м³, угол естественного откоса – 0,74 рад, угол трения – 0,5 рад).

Анализируя расчетные значения давления, действующего на торцевые стенки кузова, по Нормам получается, что на наклонную часть торцевой стены по результатам расчета приходится нагрузка равная: для сульфата аммония – 4,31 и 5,21 т, для I и III режимов; для суперфосфата двойного – 5,68 и 6,87 т; для фосфористой муки – 6,72 и 8,12 т; для минеральных удобрений комбинированных (нитрофоска) – 5,36 и 6,48 т. Если определить количество груза, которое помещается в выделенном