

УДК 621.311.25:621.039:699.641

АНАЛИЗ НОРМАТИВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К ОЦЕНКЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ С ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ДЛЯ ТЭС И АЭС

Кравец С.Б., Афиногенов А.А., Кузин Ю.С.

ГОУ ВПО «Волгодонский институт (филиал) ЮРГТУ (Южно-Российского государственного технического университета)», Волгодонск, e-mail: npi@mail.ru

Проведен анализ нормативных требований к оценке стойкости трубопроводной арматуры для ТЭС и АЭС, проанализированы их достоинства и недостатки. С использованием методов теорий колебаний и упругости проведено исследование расчетных схем по определению сейсмостойкости специальной арматуры. Даны практические рекомендации по проведению расчетов сейсмостойкости трубопроводной арматуры и рассмотрены действующие нормативные подходы к оценке сейсмостойкости арматуры и оценена их корректность на конкретном примере регулирующего клапана Ду 400. Показано, что в действующем нормативном документе НП-068-05 «Трубопроводная арматура для атомных станций. Общие технические условия» требования к расчетным схемам трубопроводной арматуры являются некорректными. Расчеты сейсмостойкости проведены по лицензированным программам, используемым при проектировании в энергетическом машиностроении.

Ключевые слова: клапан, надежность, вибрации, собственная частота

THE ANALYSIS OF STANDARD REQUIREMENTS TO THE ESTIMATION OF SEISMIC STABILITY OF PIPELINE ARMATURE WITH ELECTRIC DRIVE FOR THERMAL AND ATOMIC POWER STATIONS

Kravets S.B., Afinogenov A.A., Kuzin Y.S.

Volgodonsk institute(branch) of South-Russian State Technical University,
Volgodonsk, e-mail: npi@mail.ru

The analysis of standard requirements to an estimation of firmness of pipeline armature for thermal and atomic power station is carried out, their merits and demerits are analyzed. With use of methods of theories of fluctuations and elasticity research of settlement schemes by definition of seismic stability of special armature by which results recommendations about improvement of methods of calculation are developed is carried out. Practical recommendations about carrying out of calculations of seismic stability of pipeline armature are made and operating standard approaches to an estimation of seismic stability of armature are considered and their correctness on a concrete example of regulating valve Du 400 is estimated. It is shown that in operating standard document НП-068-05 «Pipeline armature for nuclear stations. The general specifications» requirements to settlement schemes of pipeline armature are incorrect. Seismic stability calculations are spent under the licensed programs used at designing in power mechanical engineering.

Keywords: valve, reliability, vibrations, own frequency

Обеспечение прочности оборудования и трубопроводов энергетических объектов при внешних динамических воздействиях (землетрясение, цунами и т.д.) в настоящее время является весьма актуальной задачей.

В данной статье рассмотрены действующие нормативные подходы к оценке сейсмостойкости арматуры и оценена их корректность на конкретном примере.

На данный момент оценка сейсмостойкости арматуры и трубопроводов осуществляется, как правило, с использованием расчетных и расчетно-экспериментальных методов. Целью этой оценки является подтверждение прочности и работоспособности оборудования, определение внутренних усилий, возникающих в местах крепления опорных конструкций и передающихся на другие технологические элементы или строительные конструкции при сейсмических воздействиях.

В том случае если арматура имеет опоры, вопросы, при оценке сейсмической

прочности изделия, не возникают. Когда же арматура не имеет собственных опорных конструкций (а такой арматуры подавляющее большинство), начинаются проблемы при выполнении оценок прочности при внешних динамических воздействиях.

Учитывая специфику применения специальной арматуры, а именно то, что она может применяться в различных технологических системах и на разных атомных станциях, разработчики НП-068-05 «Трубопроводная арматура для атомных станций. Общие технические условия» [1] унифицировали требования по обеспечению ее сейсмостойкости, причем за нормированный уровень сейсмических воздействий был принят максимально возможный. Таким образом, на первый взгляд, проектировщик трубопроводных систем АС получает универсальный, с точки зрения сейсмостойкости, «кирпичик», который можно поместить в любую точку

технологической системы. Следовательно, сейсмостойкость специальной арматуры оценивается на стадии проектирования для отдельно взятой единицы, искусственно выдернутой из единой взаимосвязанной системы.

По нашему мнению, у существующего подхода к оценке сейсмостойкости [1] имеется слабая сторона, а именно, не выполняется полноценный совместный анализ сейсмостойкости технологической системы в целом, с учетом взаимного влияния ее элементов друг на друга.

Такой неэффективный, с нашей точки зрения, подход к обеспечению сейсмостойкости технологических систем, по видимому, сложился из-за того, что разработчики и проектировщики пошли по классическому пути, обращая внимание при проектировании оборудования в основном лишь на обеспечение прочности от действия эксплуатационных нагрузок. Следует обратить внимание на то, что если с точки зрения обеспечения прочности при действии избыточного давления порядок соединения и расположения оборудования, трубопроводов и арматуры не играет роли, то при сейсмических воздействиях, соединяя два элемента, сейсмостойких по отдельности, мы можем получить несейсмостойкую систему [2].

В настоящей работе проанализированы достоинства и недостатки вышеуказанного подхода на примере регулирующего клапана Ду 400 (далее – клапана). Конструкция клапана показана на рис. 1.

Так как клапан поставляется без опорных конструкций и неизвестно место его установки, то при обосновании его сейсмостойкости в соответствии с [1] предписывается использовать расчетную схему, приведенную на рис. 2.

Как видно из расчетной схемы, приведенной на рис. 2, крепление клапана осуществляется за выходные патрубки и система является очень жесткой. Результаты выполненных расчетов частот собственных колебаний, выполненных при помощи расчетного комплекса «Зенит-95» [3], подтверждают вышесказанное: низшая собственная частота конструкции в этом случае равна $f_{\min} = 114$ Гц.

На практике применение такой конструкции раскрепления недопустимо, так как не будет выполнено условие обеспечения прочности при воздействии температурных нагрузок (усилий температурной самокомпенсации трубопроводов) и экономически нецелесообразно использовать две неподвижные опоры на расстоянии 850 мм друг от друга.

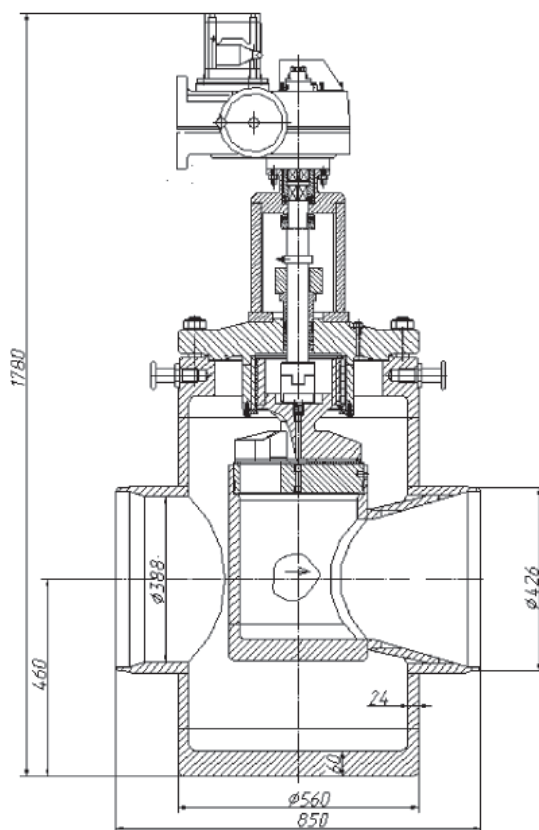


Рис. 1. Регулирующий клапан Ду 400

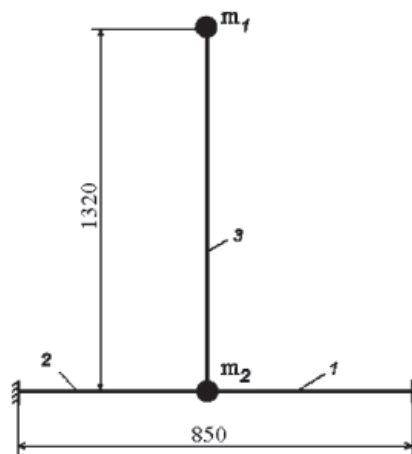


Рис. 2. Расчетная схема клапана

Одной из отличительных особенностей атомных станций является то, что опоры для технологических трубопроводных систем АЭС воспринимают не только весовые нагрузки, но, в отличие от общепромышленных трубопроводов, еще и нагрузки от внешних динамических воздействий. Кроме того, опоры горячих трубопроводов испытывают еще и нагрузку от компенсации температурных расширений. Поэтому при проектировании трубопроводных си-

стем для АЭС возникают вопросы, связанные с оптимальной расстановкой опорных конструкций. С одной стороны, с целью уменьшения напряжений от компенсации температурных расширений, трубопроводная система должна быть податливой, а с другой – жесткой для уменьшения инерционных нагрузок, возникающих при воздействии внешних динамических факторов, например, таких как землетрясение.

Для более корректного определения собственных частот, которые может иметь клапан при установке в трубопровод, можно воспользоваться рекомендациями по определению максимально допустимых расстояний между опорами, приведенными в источнике [4].

В соответствии с рекомендациями [4], для трубопровода Ду400 максимальный пролет между опорами составляет 12 м. При составлении расчетной схемы для определения собственных частот были использованы две опоры: одна была неподвижная, а вторая – подвижная. Вторая опора выбрана скользящей потому, что для трубопровода необходимо обеспечить свободу температурных удлинений и снизить нагрузки температурной самокомпенсации. С целью подтверждения правильности выбора максимального пролета между опорами, составляющего 12 м, определили с помощью программы [3] максимальный прогиб

нашей конструкции. Для пролета 6 м прогиб составил 0,2 мм, а для 12 м – 3,1 мм. Таким образом, жесткость системы «трубопровод-арматура» обеспечена для пролета 12 м, так как прогиб меньше значения максимального прогиба, нормируемого условием опорожнения трубопровода (для уклона 0,002 – 12 мм).

Расчет собственных частот для расчетной схемы (рис. 3) был выполнен для различных величин пролета: $2L = 6$ м и $2L = 12$ м. Присоединяемый трубопровод имел следующие размеры: наружный диаметр $D = 426$ мм, внутренний диаметр $d = 412$ мм. Так как жесткость присоединяемых трубопроводов существенно меньше, чем непосредственно арматуры, то участок, моделирующий арматуру, представим в виде абсолютно жесткого стержня. Привод моделировался невесомым жестким стержнем с моментами инерции, соответствующими реальной конструкции, масса привода, в соответствии с требованиями [1], вынесена в точку центра масс привода. Материал всех элементов – сталь 20. Эскиз расчетной схемы приведен на рис. 3.

С целью оценки сейсмостойкости клапана для анализа частот и форм собственных колебаний рассматривались все частоты, находящиеся ниже 33 Гц, а также все низшие (первые) частоты собственных колебаний вне зависимости от их значений.

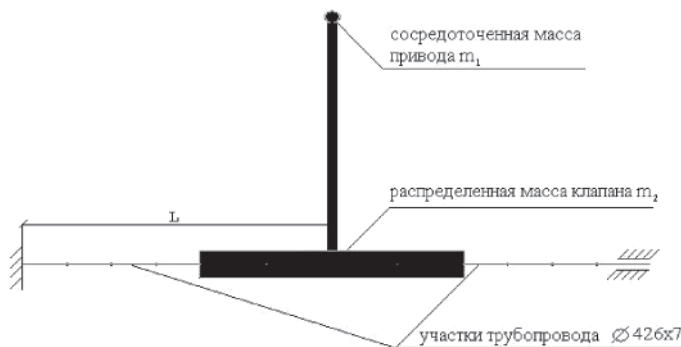


Рис. 3. Расчетная схема регулирующего клапана с трубопроводом

Расчет собственных частот выполнялся по программе [3]. Результаты определения собственных частот клапана с учетом присоединенных трубопроводов приведены в таблице.

Как видно из результатов расчетов, приведенных в таблице, значения низших частот собственных колебаний могут значительно отличаться друг от друга и, кроме того, оценка прочности при сейсмических воздействиях для них должна, в соответствии с требованиями [1], выполняться разными методами.

Собственные частоты колебаний клапана

Длина участка трубопровода L , м	Номер рисунка расчетной схемы	Форма колебаний	Собственная частота колебаний, Гц
0,425	2	1	114,0
3,0	3	1	21,3
6,0	3	1	5,9
		2	24,9

Для низшей собственной частоты $f_{\min} = 114$ Гц расчет выполняется статиче-

ским методом, в котором значения нагрузок определяются следующим образом: задается постоянное ускорение во всех точках расчетной модели – $3g$ в горизонтальном направлении (выбирается наиболее опасное направление) и $2g$ – в вертикальном направлении.

Для низшей собственной частоты $f_{\min} = 21,3$ Гц расчет выполняется также статическим методом, но величины нагрузок определяются немного по-другому. В горизонтальном направлении задается переменное ускорение $8g$ в центре масс привода и $3g$ на оси трубопровода (выбирается наиболее опасное направление); в вертикальном направлении задается ускорение $2g$.

Для низшей собственной частоты $f_{\min} = 5,9$ Гц расчет выполняется методом динамического анализа с учетом инерционной нагрузки на концах патрубков арматуры – $3g$ в горизонтальном направлении (выбирается наиболее опасное направление) и $2g$ – в вертикальном.

Анализируя вышесказанное, можно отметить, что выполнение расчетов по требованиям [1] (схема на рис. 2), не является консервативным и приводит к занижению уровня действующих напряжений при сейсмических нагрузках, что, в свою очередь, может привести к авариям.

Выводы

1. Существующему подходу к оценке сейсмостойкости арматуры, не имеющей собственных опорных конструкций, при-

веденному в НП-068-05 [1], свойствен существенный недостаток – не выполняется полноценный совместный анализ сейсмостойкости технологической системы в целом, с учетом взаимного влияния ее элементов друг на друга.

2. При оценке сейсмостойкости специальной арматуры, не имеющей собственных опорных конструкций, предлагаем выполнять расчет методом динамического анализа на весь диапазон частот внешнего сейсмического воздействия (от 1 до 33 Гц).

Список литературы

1. Трубопроводная арматура для атомных станций: Общие технические условия. НП-068-05. – М., 2005.
2. Кравец С.Б. Оценка сейсмостойкости технологических систем атомных станций. – М.: Энергоатомиздат, 2005.
3. Программа расчета динамики и прочности конструкций, механизмов и приводов «Зенит-95». Версия 6.6.5.7. НТП «ДИП». – СПб., 2009.
4. Никитина И.К. Справочник по трубопроводам тепловых электростанций. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 176 с.

Рецензенты:

Балагин А.В., д.ф.-м.н., профессор, зам. директора по научной работе ГОУ ВПО «Волгодонский институт (филиал) Южно-Российского государственного технического университета», г. Волгодонск;

Егоров С.Н., д.т.н., профессор, зам. директора по учебной работе ГОУ ВПО «Волгодонский институт (филиал) Южно-Российского государственного технического университета», г. Волгодонск.

Работа поступила в редакцию 19.07.2011.