УДК 621.515.001 EDN RZPEXE

Моделирование процесса обводнения входного сепаратора центробежной газокомпрессорной станции

К.В. Вдовина*, Р.И. Гилязетдинов, Д.С. Гайфуллин, Э.В. Гарифуллина

Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, 68, Казань, Республика Татарстан, 420015, Россия

*E-mail: vdovina.kristina@internet.ru

Аннотация. В статье рассмотрена проблема обводнения фильтра-сепаратора С-1 на входе газокомпрессорной станции центробежного типа. С использованием программного комплекса «РТСИМ Карьера» выполнено динамическое моделирование аварийного сценария, позволившее количественно оценить скорость развития аварии и пороги срабатывания систем автоматики. По результатам моделирования предложены практические рекомендации по ранней диагностике обводнения и оптимизации действий оператора.

Ключевые слова: центробежный компрессор, фильтр-сепаратор, обводнение, вибродиагностика, динамическое моделирование.

Simulation of liquid carryover in the inlet separator of a centrifugal gas compressor station

K.V. Vdovina*, R.I. Gilyazetdinov, D.S. Gaifullin, E.V. Garifullina

Kazan national research technological university, 68 Karl Marx Ave., Kazan, Rep. Tatarstan, 420015, Russia

*E-mail: vdovina.kristina@internet.ru

Abstract. This article addresses the problem of liquid carryover in the filter-separator S-1 located at the inlet of a centrifugal-type gas compressor station. The physical consequences of liquid phase ingress into the flow path of the compressor are analyzed, ranging from blade erosion to the development of surge and subsequent bearing failure. Using the "RTSIM.Career" dynamic simulation software, an emergency scenario was modeled, allowing for quantitative assessment of the accident development rate and the setpoint thresholds of the safety automation systems. Based on the simulation results, practical recommendations are proposed for early diagnostics of liquid carryover and optimization of operator actions.

Keywords: centrifugal compressor, filter-separator, liquid carryover, Vibration diagnostics, dynamic simulation.

1. Введение

Газокомпрессорная станция (ГКС) центробежного типа предназначена для повышения давления газа с помощью турбокомпрессорного агрегата (ТКА), где сжатие происходит за счёт преобразования кинетической энергии потока. Отличие от поршневых машин – отсутствие возвратно-поступательных движений и высокая частота вращения ротора (6 000-15 000 об/мин). В рассматриваемой двухкорпусной схеме, газ последовательно сжимается в корпусах низкого и высокого давления (КМ-100/2) с промежуточным охлаждением. На входе станции установлен фильтр-сепаратор, отвечающий за первичную подготовку потока [1].

Критическая значимость ступени сепаратора обусловлена её положением в цепочке: она принимает газ после дожимных станций, где состав часто отклоняется от нормы. Именно здесь формируется качество газа для корпуса низкого давления. Попадание жидкости в проточную часть центробежного нагнетателя ведёт к эрозии лопаток рабочего колеса, нарушению балансировки ротора, снижению КПД и, в конечном счёте, к помпажу с разрушением подшипников [2]. В отличие от последующих сепараторов, С-1 наиболее уязвим к обводнению и нерасчетным режимам по жидкой фазе.

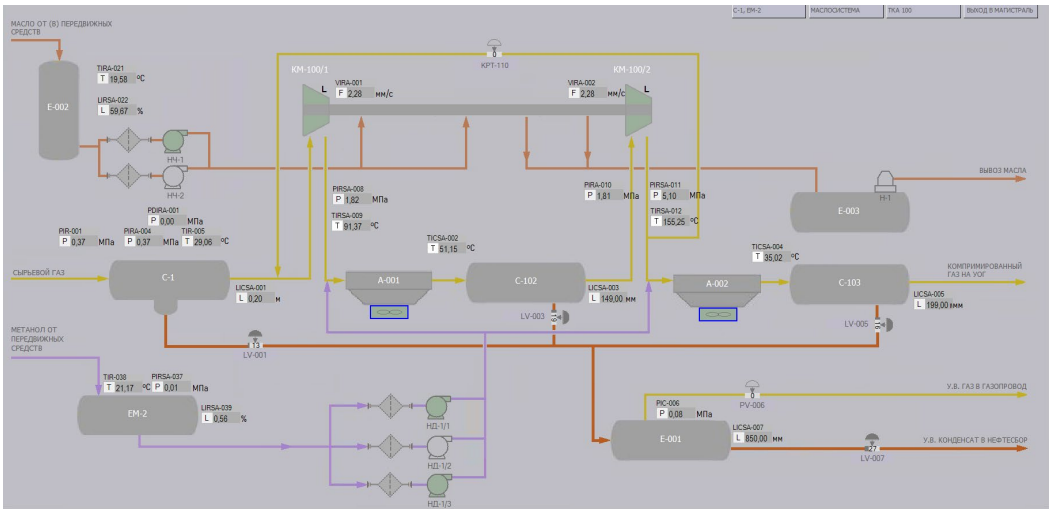

Рисунок 1. Принципиальная схема ГКС в РТСИМ.Карьера.

2. Признаки обводнения на ГКС

Обводнение сепаратора ГКС, возможно определить по ряду признаков, таких как рост перепада давления на С-1 (PDIRA-001) при неизменном расходе, падение давления на линии всасывания корпуса низкого давления (PIRSA-006) ниже уставки ПАЗ 0,24

МПа, скачкообразное повышение уровня виброскорости компрессора, нестабильность температуры за корпусом низкого давления (TIRSA-009), срабатывание уровневых датчиков LICSA-001 и LICSA-003 с малым интервалом между сбросами конденсата.

Совокупность двух и более из перечисленных признаков следует рассматривать как достоверный индикатор начавшегося обводнения, требующий немедленного вмешательства персонала [3].

Проведение динамического моделирования необходимо для количественной оценки скорости развития аварийного сценария, которая при обводнении слишком высока для безопасного экспериментирования на реальном оборудовании. Кроме того, моделирование позволяет заранее определить точные пороги срабатывания систем автоматики и отработать алгоритм действий оператора в условиях, максимально приближенных к реальным, без риска повреждения производственного объекта.

3. Моделирование процесса

Моделирование процесса обводнения газового сепаратора проводилось при помощи программы «РТСИМ.Карьера». На рисунке 2 представлена динамика изменения уровня жидкости в конденсатосборнике сепаратора С-1 и давления на линии сброса.

Рисунок 2. Графики изменения уровня жидкости со временем в сепараторе LICSA-001 и в ёмкости LICSA-007.

Рисунок 3. Графики изменения виброскорости на опорах подшипников центробежного нагнетателя во времени.

В ходе моделирования сценария обводнения, было выявлено, что уровень жидкости в сепараторе возрастает, поскольку жидкая фаза накапливается в

конденсатосборнике быстрее, чем успевает срабатывать штатная система дренажа. После достижения уставки ПАЗ автоматически открывается дренажный клапан, и уровень начинает постепенно снижаться до регламентных значений [5]. Одновременно показатель на линии сброса дренажной жидкости демонстрирует резкий рост с последующим выходом на плато. Это прямое следствие увеличения гидравлического сопротивления фильтрующих элементов сепаратора при поступлении жидкой фазы [6, 7]. Снижение уровня после достижения пика соответствует срабатыванию системы ПАЗ и открытию дренажного клапана.

На рисунке 3 приведены графики изменения виброскорости на опорах подшипников центробежного нагнетателя во времени. В штатном режиме значения стабильны и не превышают регламентные значения. С момента поступления жидкости на рабочее колесо фиксируется резкий скачкообразный рост виброскорости. Такая динамика свидетельствует о нарушении динамической балансировки ротора, вызванном эрозионным воздействием капель жидкости. Достижение второго порога виброзащиты означает, что повреждение проточной части уже произошло.

4.Выводы

Моделирование обводнения сепаратора С-1 в «РТСИМ-Карьера» показало, что авария развивается за 8-12 секунд: виброскорость ротора достигает критических 11,2 мм/с при скорости нарастания 1,4 мм/с². Система ПАЗ срабатывает по уровню лишь через 6 секунд, оставляя оператору менее 5 секунд на реакцию – время, исключающее визуальный контроль.

Динамическое моделирование – единственный способ количественно оценить временные запасы (менее 10 секунд до разрушения) и проверить настройки автоматики без остановки реального оборудования и риска его повреждения.

Список литературы

1. Технологический регламент газокомпрессорной станции. Описание системы сепарации, компримирования и автоматики ТКА-100.
2. Руководство пользователя ПО РТСИМ «Карьера». Динамическое моделирование объектов нефтегазового комплекса.
3. ГОСТ ISO 10439 Нефтяная и газовая промышленность. Центробежные компрессоры.

4. Евсеев, А.В. Совершенствование методов моделирования течений с химическими превращениями и их реализация на графических процессорах: автореф. дис… канд. техн. наук / А. В. Евсеев. – Иваново, 2011. – 14 с.

5. Цифровые тренажеры технологических процессов РТСИМ. Карьера для обеспечения безопасности в нефтехимическом комплексе / Р.Р. Габдрахманов, Э.В. Гарифуллина, В.В. Бронская [и др.] // Наука, технологии, общество: Экологический инжиниринг в интересах устойчивого развития территорий: Сборник научных статей, Красноярск, 09-10 ноября 2023 года. – Красноярск: Красноярский краевой Дом науки и техники Российского Союза научных и инженерных общественных объединений, 2023. – С. 131-135. – EDN: BLETRM.

6. Моделирование гидродинамических процессов, протекающих внутри сепарационного оборудования, применяемых на газоконденсатных месторождениях / Р.Р. Шафиков, М.М. Фарахов, Э.В. Гарифуллина [и др.] // Вестник Технологического университета. – 2023. – Т. 26, № 12. – С. 124-128. – DOI 10.55421/1998-7072_2023_26_12_124. – EDN: LVHKQO.

7. Хасанова, Э.А. Анализ аварийных ситуаций на газокомпрессорных станциях магистральных газопроводов / Э.А. Хасанова, Ю.Н. Эйдемиллер // Проблемы обеспечения безопасности (Безопасность-2021): Материалы III Международной научно-практической конференции. В 2-х томах, Уфа, 11 марта 2021 года. Том 1. – Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2021. – С. 181-189. – EDN: IZJXYX.