

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА

**Кунина П.С.**, д.т.н., зав. кафедрой ОНГП,  
ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар.

**Паранук А.А.**, к.т.н. ассистент кафедры ОНГП,  
ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар.

**Братченко И.В.**,  
директор ООО «ГрандЭкспертИнженеринг».

**Костин С.П., Чернова Ю.Н.**,  
начальник отдела ООО «ГрандЭкспертИнженеринг».

**Климова Н.Ю.**,  
главный инженер ООО «ГрандЭкспертИнженеринг».

**Ковалев Ю.С.**,  
начальник отдела, Северо-Кавказское управление Федеральной службы по экологическому,  
технологическому и атомному надзору.  
rambi.paranuk@gmail.com

**Аннотация.** В работе рассмотрены принципиальные схемы взаимосвязей сложной технической системы, как основание для исследования ее технического состояния, а так же структурные представления взаимодействия элементов системы и связи входных событий с выходными признаками, то есть установление причинно-следственных связей при возникновении отказа или аварийно-опасных ситуаций. Предложенные принципиальные схемы взаимосвязей сложных технических систем, как основание для исследования ее технического состояния, примененные в условиях компрессорной станции, позволяют диагностировать неисправности газоперекачивающего оборудования. Для применения предложенных схем необходимо исследование состояние сложной системы и разделение на подсистемы (комплексы, агрегаты) и элементы (узлы и детали). Так как газоперекачивающее оборудование является сложной технической системой от правильной работы, которой зависит работоспособность отдельно взятой компрессорной станций.

**Ключевые слова:** структурный анализ, входные факторы, шум системы, гибкие, жесткие.

## EXAMINATION OF TECHNICAL STATE COMPLEX SYSTEMS BY SEQUENTIAL STRUCTURAL ANALYSIS

**Kunina P.S.**,  
Doctor of Technical Sciences of the department chair of ONGP,  
FHBOU VPO "Kubanskyy hosudarstvennyy tehnolohycheskyy University", Krasnodar.

**Paranuk A.A.**,  
Ph.D. assistant to ONGP chair,  
FHBOU VPO "Kubanskyy hosudarstvennyy tehnolohycheskyy University", Krasnodar.

**Bratchenko I.V.**,  
direktor LLC «GrandEkspertInzhenering», Krasnodar.

**Kostin S.P., Chernova Y.N.**,  
head otdela LLC «GrandEkspertInzhenering», Krasnodar.

**Klimova N.Y.**,  
head otdela LLC «GrandEkspertInzhenering», Krasnodar.

**Kovalyov Y.S.**,  
head otdela North Caucasian management of Federal Service for Environmental,  
Technological and Nuclear Supervision, Krasnodar.

**Abstract.** The paper discusses the concepts of interrelations complex technical system, as a basis for the study of its technical condition, as well as structural elements of the interaction representation and communication of events with input output characteristics, the establishment of cause-and-effect relationships in the event of a failure or accident-prone situations. The proposed concepts interrelationships of complex technical systems, as a basis for the study of its technical condition, applied in a compressor station, allow troubleshoot gas-pumping equipment. For the application of the proposed schemes need to study the state of a complex system and the division into subsystems (complexes, aggregates) and elements (or parts). Since the gas-pumping equipment is a complex technical system of proper operation, which depends on performance of individual compressor stations.

**Keywords:** structural analysis, input factors, system noise, flexible, hard.

Для качественного исследования технического состояния сложные системы должны быть разделены на подсистемы (комплексы, агрегаты) и элементы (узлы и детали). В составе подсистем могут рассматриваться конструктивно и функционально завершенные составные части системы, взаимодействие которых обеспечивает достижение поставленной цели при выполнении запланированной задачи. В качестве элементов включаются в рассмотрение составные части, являющиеся результатом некоторого деления структуры или конструкции системы без соблюдения принципов конструктивной и функциональной завершенности частей. Каждый элемент системы связан с другими элементами определенным образом, а идентичные элементы могут иметь различные характеристики в различных системах. Поэтому, прежде всего, необходимо выявить взаимосвязи и определить топографию системы, то есть провести ее структурный анализ. Полученная таким образом информация представляется в виде различных электрических, кинематических и др. схем, чертежей, технических описаний, карт логических переходов и т.д.. Технические системы по условиям сложности, особенностям конструкции и компоновки их элементов можно в общем виде подразделить на:

- **гибкие** – дискретные, состоящие из отдельных, почти идентичных элементов, которые могут возобновляться или быть ликвидированными;
- **жесткие** - в которых каждый элемент необходим, а выполнение функционального назначения системы без него невозможно.

Принципиальная схема взаимосвязей сложной технической системы представлена на рисунке 1.

Так, перекачивающую станцию (насосную, компрессорную) станцию, можно определить как сложную гибкую техническую систему, в которой нельзя разграничить действие переменных различной физической природы, поскольку они обладают свойством эмергентности, то есть они не сводятся к сумме составляющих частей, а представляют собой некое единое целое, обладающее качествами, ни одной из составляющих ее частей не присущими. Напротив, перекачивающих агрегат (насос, компрессор, при-

вод агрегата) определяется как жесткая техническая система.

Все, что не входит в техническую систему, является по отношению к ней внешней средой. Система может испытывать воздействия этой среды и сама воздействовать на нее.

Первые воздействия можно определить как входные, вторые – как выходные. Входные воздействия, в свою очередь разделяют на регулируемые и не регулируемые. Под регулируемыми воздействиями понимаются такие, которые возможно изменить в процессе транспорта газа, например, на передающей компрессорной станции: давление, расход, температуру, влажность. Нерегулируемые воздействия – факторы влияния, которые не подлежат регулированию, а должны приниматься перекачивающей станцией как исходные условия: количественный и качественный состав поступающего углеводородного сырья, климатические условия, профиль и конфигурация трассы, атмосферное давление, и т.д. Кроме того, необходимо учитывать случайные динамические воздействия и шум системы [1].

Случайные динамические воздействия возможны в результате стихийных бедствий, гидро–(пнеumo)–ударов, взрывов, скоротечных коррозионных разрушений. Под термином «шум системы» понимают все возможные погрешности проектирования, компоновки, изготовления агрегатов, строительства, монтажа объектов, входящих в рассматриваемую систему, которые невозможно устранить и, учитывая которые, необходимо эксплуатировать систему в том виде, в каком она существует в данный момент.

Система, воспринимая все эти воздействия, отвечает на них определенными реакциями, такими как: изменением термогазодинамических характеристик перекачиваемой среды, износом пар трения, возникновением волнового или пульсирующего течения газа или жидкости, утонением стенок трубопроводов в результате коррозионных и гидроабразивных процессов, изменением шероховатостей поверхностей проточных частей оборудования, появлением отложений, трещинообразованием и т.д. и, как следствие, отказами или повреждениями основных элементов,

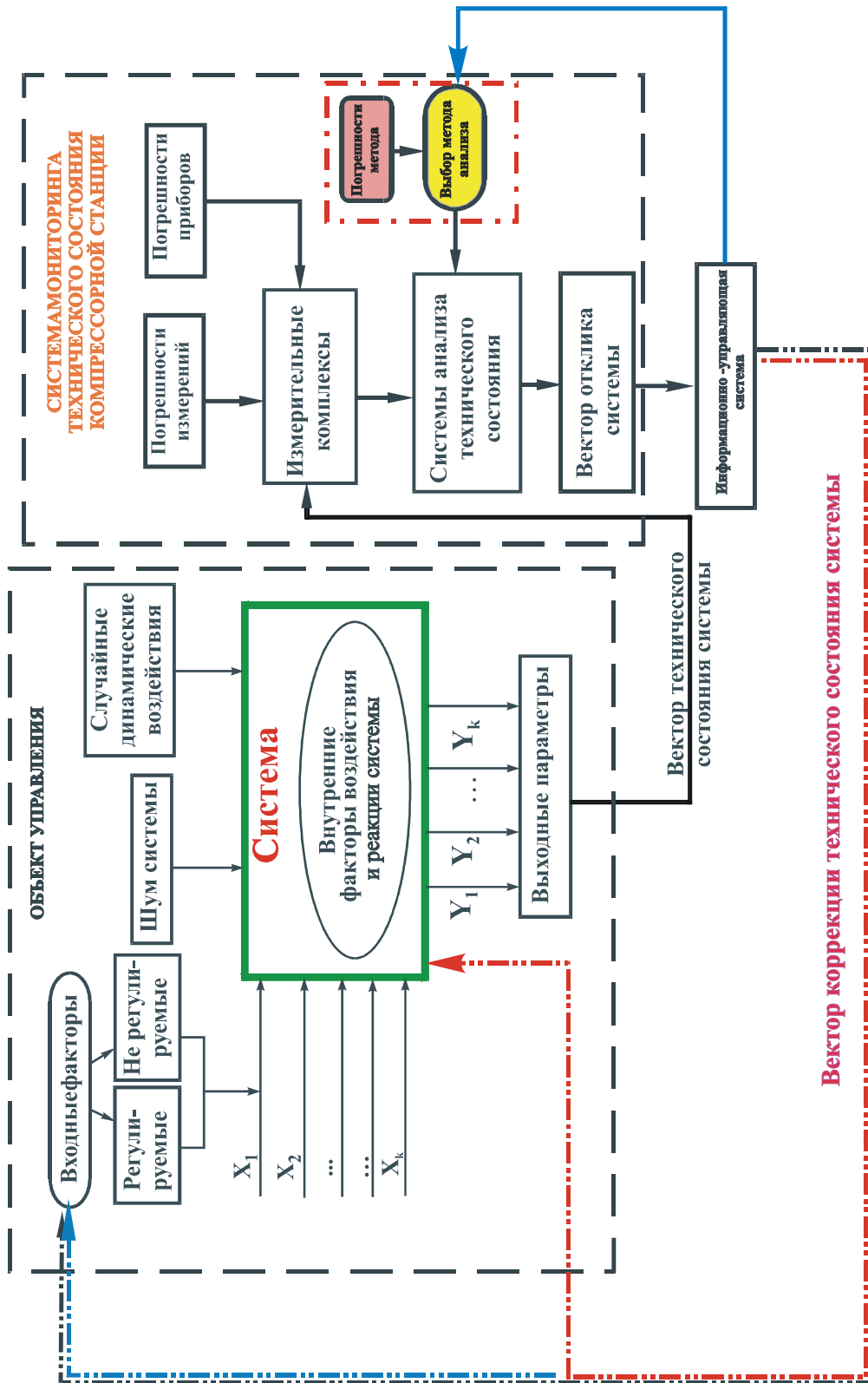


Рис. 1. Принципиальная схема взаимосвязей элементов сложной технической системы

разрушением агрегатов, трубопроводных сетей и т.д. Все эти негативные реакции системы определенным образом оказывают воздействие на технологические режимы перекачки углеводородов от компрессорной или насосной

Совокупность всех выходных параметров можно охарактеризовать, как вектор технического состояния системы. В свою очередь вектор технического состояния воспринимается измерительными комплексами – датчиками, приборами, измерительными блоками. Здесь необходимо упомянуть, что измерительные комплексы так же, в свою очередь, являются сложными техническими системами, которые имеют свои погрешности – погрешности измерений и погрешности приборов (датчиков), отчего результаты измерений могут искажаться.

Результаты измерений подвергаются исследованию введенными методами анализа, образуя вектор отклика системы, градиент изменения которого указывает на трансформацию действительного технического состояния оборудования эксплуатируемого объекта. При анализе технического состояния системы (формировании вектора отклика) оценивают изменение выходных характеристик, чтобы выделить из возможных состояний наиболее вероятные. То есть осуществляется некоторый диагностический процесс, основными целями которого являются: анализ, позволяющий уточнить и локализовать место возможной опасной ситуации или аварии, установление элементов системы, находящиеся в аварийном состоянии, а так же наблюдение за изменением режимных и технологических параметров системы. Следует учесть, что в некоторых случаях различные воздействия приводят к одинаковым конечным результатам и в этом случае необходимо иметь детально проработанные методики анализа действительного технического состояния объекта наблюдения[2].

Информационно –управляющая система, на основании вектора отклика, создает вектор коррекции, который является инициатором регулирующих воздействий как на входные факторы, так и на параметры самой технической системы. То есть оперативное управление компрессорной станции, равно как и оп-

тимизация технологических режимов, осуществляется при помощи вектора коррекции, выведенного на основании результатов анализа технического состояния структурных групп (компрессоров, связанных с ними трубопроводных сетей и т.д.).

Основной целью такого регулирования является повышение долговечности технологических трубопроводов и уменьшения различного рода повреждений, для чего необходимо стремиться к сохранению постоянства рабочего давления и расхода, избегая значительных колебаний, что характерно при возникновении неустойчивых течений в нагнетателях компрессорных установок.

Как видно из приведенной схемы (рисунок 1) на вектор коррекции, а, следовательно, и на эффективность регулирования и безопасность эксплуатации, большое влияние оказывает избранная методика анализа действительного технического состояния диагностируемого объекта, так как общеизвестно, что не существует идеально адекватных текущей ситуации методов. Все, что не входит в техническую систему, является по отношению к ней внешней средой.

Система может испытывать воздействия этой среды и сама воздействовать на нее.

Первые воздействия можно определить как входные, вторые – как выходные. Входные воздействия, в свою очередь разделяют на регулируемые и не регулируемые. Под регулируемыми воздействиями понимаются такие, которые возможно изменить в процессе транспорта газа на передающей компрессорной станции: давление, расход, температуру, влажность. Нерегулируемые воздействия – факторы влияния, которые не подлежат регулированию, а должны приниматься технической системой как исходные условия. Например, количественный и качественный состав поступающего газа или нефти, климатические условия, профиль и конфигурация трассы, атмосферное давление, и т.д. Кроме того, необходимо учитывать случайные динамические воздействия и шум системы. Случайные динамические воздействия возможны в результате стихийных бедствий, гидро–(пнеumo)–ударов, взрывов, скоротечных коррозионных разрушений. Под термином «шум системы» понимают все

возможные погрешности проектирования, компоновки, изготовления агрегатов, строительства, монтажа, которые невозможно устранить и, учитывая которые, необходимо эксплуатировать систему в том виде, в каком она существует в данный момент[3].

Система, воспринимая все эти воздействия, отвечает на них определенными реакциями, такими как: изменением термогазодинамических характеристик перекачиваемой среды, износом пар трения, возникновением волнового или пульсирующего течения газа, утонением стенок трубопроводов в результате коррозионных и гидроабразивных процессов, изменением шероховатостей поверхностей проточных частей оборудования, появлением отложений, трещинообразованием и, как следствие, отказами или повреждениями основных элементов, разрушением агрегатов и трубопроводных сетей и т.д. Все эти негативные реакции системы определенным образом оказывают воздействие на технологические режимы работы исследуемого объекта.

Совокупность всех выходных параметров можно охарактеризовать, как вектор технического состояния системы (например, компрессорной станции). В свою очередь вектор технического состояния воспринимается измерительными комплексами – датчиками, приборами, измерительными системами. Здесь необходимо упомянуть, что измерительные комплексы так же, в свою очередь, являются сложными техническими системами, которые имеют свои погрешности – погрешности измерений и погрешности приборов (датчиков), отчего результаты измерений могут искажаться.

Результаты измерений подвергаются исследованию введенными методами анализа, образуя вектор отклика системы, градиент изменения которого указывает на трансформацию действительного технического состояния оборудования перекачивающей станции, в том числе и технологических трубопроводов. При анализе состояния системы (формировании вектора отклика) оценивают изменение выходных характеристик, чтобы выделить из возможных состояний наиболее вероятные. То есть осуществляется некоторый диагностический процесс, основными целями которо-

го являются: анализ, позволяющий уточнить и локализовать место возможной опасной ситуации или аварии, установление элементов системы, находящиеся в аварийном состоянии, а так же наблюдение за изменением режимных и технологических параметров системы. Следует учесть, что в некоторых случаях различные воздействия приводят к одинаковым конечным результатам и в этом случае необходимо иметь детально проработанные методики анализа действительного технического состояния объекта наблюдения.

Информационно-управляющая система, на основании вектора отклика, создает вектор коррекции, который является инициатором регулирующих воздействий как на входные факторы, так и на параметры самой технической системы. То есть оперативное управление компрессорной станции, равно как и оптимизация технологических режимов, осуществляется при помощи вектора коррекции, выведенного на основании результатов анализа технического состояния структурных групп (компрессоров, насосов, связанных с ними трубопроводных сетей и т.д.).

Основной целью такого регулирования является повышение долговечности технологических трубопроводов и уменьшения различного рода повреждений, для чего необходимо стремиться к сохранению постоянства рабочего давления и расхода, избегая значительных колебаний, что характерно при возникновении неустойчивых течений в нагнетателях компрессорных установок[4].

Как видно из приведенной схемы (рисунок 1) на вектор коррекции, а, следовательно, и на эффективность регулирования и безопасность эксплуатации, большое влияние оказывает избранная методика анализа действительного технического состояния диагностируемого объекта, так как общеизвестно, что не существует идеально адекватных текущей ситуации методов. Поэтому, весьма важен наиболее приемлемый для исследуемого объекта выбор принципиальной основы методики анализа и расчета параметров течения газа, необходимой для работы компрессорной станции в оптимальном режиме, и своевременного предупреждения опасных и аварийных ситуаций, так как ликвидация аварии (например, разрыв



Рис. 2. Структура представления взаимодействия элементов системы и связи входных событий с выходными признаками

трубопроводных сетей в результате воздействия низкочастотных колебаний большой амплитуды), по затратам, может сравниться с прокладкой новой нитки, а экологические последствия подобного варианта могут быть крайне негативны.

Таким же образом определяется набор событий на входе каждого элемента, для оценки выходных параметров. Внутренние факторы (режимы работы) или состояния элемента можно рассматривать в виде различных входов со стороны других элементов или окружающей среды.

Общая структура представления взаимодействия элементов системы и связи входных событий с выходными признаками проявления неисправностей представлены на рис. 2.

Таким образом, с большой степенью вероятности, можно сделать вывод, что, практически все существующие методики анализа надежности, риска и безопасности работы предприятий нефтегазового комплекса (и не только их) не дают полной количественной оценки всех возможных последствий или ущерба вследствие наступления аварийных ситуаций [5].

Основная их ценность заключается в улучшении качества эксплуатации и обслуживания системы, путем определения:

- элементов подвергающихся детальному анализу с целью исключения опасностей, приводящих к возникновению аварии, т.е. создания безотказной конструкции, снижению интенсивности

- отказов или ограничения ущерба наносимого отказом;
- элементов и узлов, требующих особого внимания в процессе производства, более пристального контроля технического состояния и нуждающихся в особо осторожном обращении при ремонте в течение всего времени использования;
- специальных требований для поставщиков, подлежащих включению в перечень характеристик, относящихся к конструкции, функционированию, надежности, безопасности или гарантии качества;
- нормативов входного контроля, которые должны быть установлены для элементов и параметров, подлежащих наиболее тщательному контролю;
- введение специальных процедур, правил безопасности, применение защитного оборудования, контрольных приборов или сигнальных систем;
- наиболее эффективных затрат усилий и использования методов предотвращения аварий, что является весьма важным, так как на каждую программу обычно выделяются ограниченные средства.

### Список литературы

1. Кунина П.С, Павленко П.П. Величко Е.И. Диагностика энергетического оборудования трубопроводного транспорта нефти и газа Краснодар: Издательский Дом-Юг,2010.-552 с.,552 с. ISBN 978-5-91718-082-3
2. Барзилович Е. Ю. Модели технического обслуживания сложных систем.— М.: Высшая школа, 1982. — 231 с.
3. Голуб Е.С. Диагностирование судовых технических средств. – М.: Машиностроение, 1993
4. Коллакот Р.А. Диагностирование механического оборудования. – Л.: Судостроение, 1988. – 456 с.
5. Хенли Д., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска. – М.: Мир, 1987. – 528 с.