

Библиографические ссылки

1. Процессы получения и практического использования полиэтилентерефталатного волокна из вторичного сырья : монография / Б. А. Сентяков, К. П. Ширококов, В. М.

Получено 19.02.15

Святский, М. А. Святский, К. А. Фонарева. – Старый Оскол : Тонкие наукоемкие технологии, 2014. – 152 с.

2. Святский В. М., Святский М. А., Сентяков Б. А. Методика расчета электронагревательных элементов для плавления полимерного сырья // Интеллектуальные системы в производстве. – 2011. – № 2. – С. 159–163.

УДК 621.28

Д. М. Цимберов, кандидат военных наук, доцент, Пермский военный институт ВВ МВД России
А. М. Магамедов, соискатель, Пермский военный институт ВВ МВД России

МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ СБОРКОЙ ВАЛОПРОВОДА С УЧЕТОМ РАЗНОХАРАКТЕРНЫХ ФАКТОРОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ АГРЕГАТОВ

В настоящее время строительство и эксплуатация газоперекачивающих трубопроводов является перспективной бурно развивающейся отраслью. Сеть трубопроводов охватывает всю Россию и выходит далеко за ее пределы. Так, на рынок в России приходят фирмы Siemens, GE, МНН и др., которые участвуют в строительстве газопроводов.

Однако в 2011-2012 гг. на ряде предприятий возникли определенные сложности с вводом в строй, эксплуатацией и ремонтом промышленных агрегатов. Анализ недостаточного качества сборки перекачивающих станций показал, что одним из самых проблемных узлов является валопровод [1].

Валопровод – это система, состоящая из последовательно соединенных роторов, снабженных собственными опорами или подвешенными к опорным роторам (рис. 1) [2].

Анализ научных разработок изучаемого вопроса показал, что над этой проблематикой работали уче-

ные. Так, Белобородов С. М. разработал методологию обеспечения динамической устойчивости валопроводов высокоскоростных газотурбинных агрегатов на основе применения адаптивной сборки [3]. Долгов В. А. показал пути повышения производительности производственных участков в многоменклатурном производстве путем адаптации технологических процессов изготовления установленной программы деталей к их текущему состоянию [4]. Шайхудинов А. З. показал пути повышения энергетических показателей проточных частей нагнетателей газоперекачивающих агрегатов [5]. Значительный вклад в теорию и практику этого вопроса внесли Базаров Б. М., Безъязычный В. Ф., Непомилуев В. В., Макаров В. Ф.

На основе проведенного анализа предлагается при сборке валопроводов учитывать ряд факторов, влияющих на технологический процесс сборки (табл. 1).

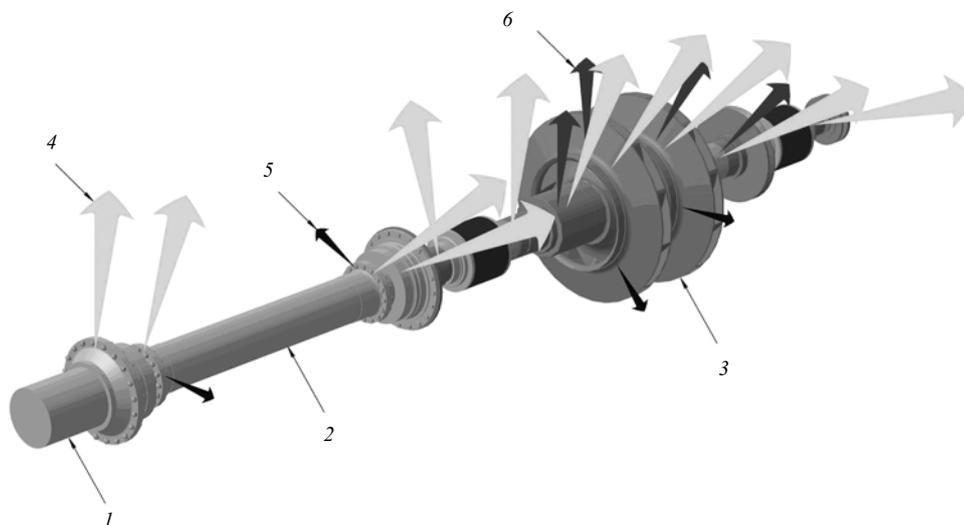


Рис. 1. Общая схема валопровода: 1 – вал силовой турбины; 2 – трансмиссия; 3 – ротор компрессора; 4 – монтажные, 5 – остаточные, 6 – локальные дисбалансы

Таблица 1. Факторы, влияющие на технологический процесс сборки валопроводов

Факторы		
Оперативные	Технологические	Материально-технические
Рассредоточенность постов сборки узлов и агрегатов по большому количеству мест при определенных трудностях взаимодействия между ними. Объем производства. Кадровый потенциал производства	Погрешности. Масса и центровка изделия. Точность сборки. Стабильность работы. Остаточное напряжение в деталях. Деформации в местах контактов. Качество сборочных единиц. Условия сборки	Разнохарактерное использование оборудования в масштабе производства, наличие коммуникаций и других объектов, перевозки и грузов и решение других вспомогательных задач; увеличенный расход ресурсов и сложность его прогнозирования. Высокий уровень остановов промышленных агрегатов по техническим причинам и сложность прогнозирования поломок. Значительная удаленность мест эксплуатации от производства

Эффективность сборки в конечном счете будет заключаться в уравнивании валопровода при взаимной уравниваемости дисбаланса каждой его части в установленное время, и чем времени будет затрачено меньше, тем технологический процесс будет эффективнее. На рис. 2 представлен граф образования дисбалансов, полученный опытным путем.

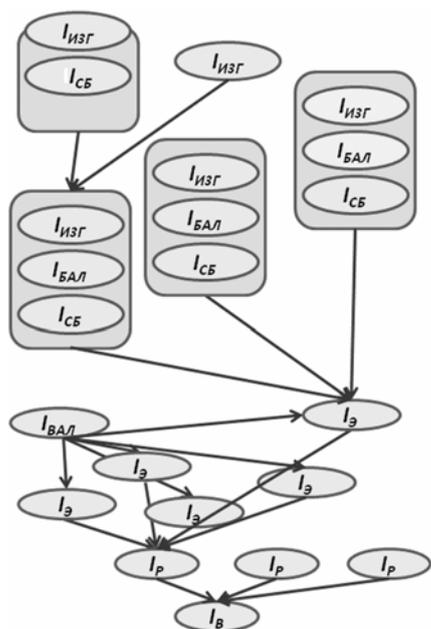


Рис. 2. Граф образования дисбалансов валопровода: изг – изготовления; бал – балансировки; сб – сборки; э – эксплуатации агрегата; вал – общий дисбаланс валопровода до эксплуатации; п – дисбаланс при испытаниях; в – выходной дисбаланс

Пусть k – тип валопровода по номенклатуре; j – узел графа, в котором любой из перечисленных дисбалансов I_j уравновешен в определенный технологический срок; i – начало технологической операции, ставящей себе целью уравновесить соответствующий дисбаланс. Соответственно, дуга (i, j) будет соответ-

ствовать самой технологической операции устранения локального дисбаланса, а дуга (j, i) будет представлять из себя возвращение к предыдущей (или выполнение последующей) операции в случае аварийного останова. И, соответственно, граф (j^k, i) – начало технологического процесса, а $(j, в)$ – заключительная операция устранения дисбаланса. Количество операций технологического процесса не должно превышать установленных технологическим процессом значений.

Задача может быть сформулирована следующим образом:

$$\begin{aligned}
 f(x) &= \sum_k \sum_i \sum_j AF_{ij}^k (O_{ij}^k) \rightarrow \max; \\
 \sum_k \sum_v O_{ij}^k &\leq O_{\max}; \\
 \sum_j O_{ji}^k &\rightarrow 0; \\
 \sum_i I_j^k &\rightarrow 0.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Здесь v – множество элементов валопровода, на которых корректируются локальные дисбалансы; AF – коэффициент оперативной готовности, вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, за исключением случаев, когда этот объект не эксплуатируется [6]; O – число объектов балансировки; O_{\max} – число объектов балансировки, предусмотренных технологическим процессом.

Для реализации сети составляется таблица исходных данных (табл. 2).

Известно, что уравниваемость ротора обеспечивается следующими показателями: суммой локальных дисбалансов, эксцентриситетом установки элемента и непосредственно отклонениями установленных конструкторской документацией размеров.

Таблица 2. Пример таблицы с исходными данными для составления сетевого графика

Тип валопровода	Номер операции	Допустимый срок начала балансировки	Допустимый срок балансировки	Начальный локальный дисбаланс	Показатель дисбаланса после балансировки

Для осуществления сборки промышленного агрегата узлы должны поступать в заранее предусмотренный производственным заданием срок. Работоспособность агрегата в целом определяется характером взаимодействия локальных частей валопровода, которое можно отразить в виде сети. Разработка технологии сборки всегда основана на главных положениях теории размерных цепей. Производится размерный анализ, который из себя, как правило, представляет некоторую совокупность расчетных процедур, при этом производится анализ технологических процессов. В настоящее время вопросы расчета размерных цепей общеизвестны, также известны методики расчета с помощью средств вычислительной техники.

Известные теории размерных цепей показывают, что геометрические параметры узлов, участвующих в технологических процессах, всегда неизменны. Однако при монтаже валопроводов локальные дисбалансы отдельных частей часто компенсируются дисбалансами другой детали, и суммарный дисбаланс не получается прямым сложением локальных дисбалансов.

Процесс понижения виброактивности валопроводов часто связан с динамическим характером работы промышленного агрегата. Особенно остро этот вопрос стоит при сборке нестандартных изделий. Часто используется так называемый комплект из трех баз, хотя доказано, что балансировка должна производиться в четырех плоскостях.

Таким образом, при сборке промышленных агрегатов возникает дисбалансы валопроводов, которые ошибочно пытаются устранить завышением жесткости деталей; используется также метод подбора, регулировки, подгонки. Конструкторы предусматривают, чтобы погрешности не превышали определенных величин, но во время испытаний оказывается, что многие параметры составных частей валопровода заметно отличаются от значений, рассчитанных ранее. И точность, определяемая конструкторской документацией, является часто условной.

При решении задачи в первую очередь нужно предусматривать контроль исполнения. Результаты испытаний должны тщательно анализироваться и расчеты корректироваться.

В типовых расчетах не учитывается возможность экономии времени, затрачиваемого на технологическую операцию балансировки за счет повышения эффективности управления исследуемыми процессами.

В связи с этим актуальна такая научная проблема, как повышение оперативности технологического процесса, то есть своевременного выявления управленческих проблем и такой скорости их решения, которая обеспечивала бы максимальное достижение поставленных целей при сохранении устойчивости налаженных производственных и обеспечивающих процессов [7].

Наряду с сетевой организацией технологического процесса необходимо и устранение локальных дисбалансов сделать более эффективной с точки зрения

оперативности. Появление высоких динамических нагрузок приводит к сбоям в процессе сборки. Уменьшить вибрационную активность валопровода возможно на основе применения алгоритма управления (рис. 3).



Рис. 3. Алгоритм управления технологическим процессом сборки валопровода

Осуществляя сборку по заранее заданным параметрам, необходимо учитывать возможные отклонения.

При проведении измерений трансмиссия монтируется с валопроводам. Производятся измерения, и заносятся в технический паспорт величины и места радиальных биений. Определяется количество участков балансировки. При незапланированном выходе из строя объекта необходимо перейти к другой операции в соответствии с сетевым графиком. Также переход к другим операциям возможен при установке и монтаже корректирующих масс.

Применение метода организации технологического процесса, использование управленческого алгоритма, позволяет повысить эффективность сборки промышленных агрегатов на 12-30 %.

Библиографические ссылки

1. Прецизионный способ сборки трансмиссии / С. И. Бурдюгов, А. М. Козин, С. М. Белобородов,

Д. М. Цимберов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2008. – № 6. – С. 15–16.

2. Белобородов С. М. Методические аспекты обеспечения виброустойчивости валопровода агрегата // Компрессорная техника и пневматика. – 2009. – № 7. – С. 13–15.

3. Белобородов С. М. Методология обеспечения динамической устойчивости валопроводов высокоскоростных газотурбинных агрегатов на основе адаптационной сборки роторов : дис. ... д-ра техн. наук. – Пермь : ПНИПУ, 2011. – 334 с.

4. Долгов В. А. Повышение производительности производственных участков в многономенклатурном производ-

Получено 25.02.2015

стве путем адаптации технологических процессов к их текущему состоянию : дис. ... д-ра техн. наук. – М. : МГТУ «Станкин», 2012. – 380 с.

5. Шайхутдинов А. З. Повышение энергетических показателей проточных частей нагнетателей газоперекачивающих агрегатов, применяемых на предприятиях ОАО «Газпром» : дис. ... канд. техн. наук. – Казань, 2000. – 190 с.

6. ГОСТ 52527–2006. Надежность, готовность, эксплуатационная технологичность и безопасность. – М. : Изд-во стандартов, 2006. – 16 с.

7. Мильнер Б. З. Теория организации : учебник. – М. : Инфра-М, 2002. – 480 с.

УДК 531.36, 629.7

А. В. Алексеев, кандидат технических наук, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (Национальный исследовательский университет)

ИССЛЕДОВАНИЕ ОРИЕНТАЦИОННОГО ДВИЖЕНИЯ ТРЕХРОТОРНОГО ГИРОСТАТА НА ОСНОВЕ АСИМПТОТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ*

Исследуется пространственное движение вокруг центра масс системы соосных тел, состоящей из несущего тела и трех динамически симметричных роторов, вращающихся относительно главных осей инерции системы. Соосные системы находят приложение в практических задачах механики космического полета, например, при исследовании движения космических аппаратов (КА) с двойным вращением, спутников гироскопов, а также КА, содержащих массивные вращающиеся элементы. Движение соосных тел исследовалось ранее рядом отечественных и зарубежных ученых: В. В. Белецким, Й. Виттенбургом [1], В. В. Крементуло, а также другими [2, 3, 4]. В указанных работах рассмотрены вопросы устойчивости, проведены качественные исследования движений, проанализировано влияние параметров. Однако недостаточно внимания уделено получению аналитических законов движения. Получить точные решения дифференциальных уравнений движения в общем случае не представляется возможным, а по численному решению трудно проводить анализ движения и определять влияние на него параметров системы. Поэтому данная работа посвящена приближенному аналитическому решению и получению зависимостей, позволяющих проводить глубокий качественный анализ движения систем соосных тел и осуществлять синтез параметров КА.

Кроме того, как показано в [5, 6, 7, 8, 9], многороторными системами можно моделировать движение систем твердых тел с полостями, заполненными вязкой жидкостью. На самом деле системы с жидкостями имеют бесконечное число степеней свободы и описываются уравнениями в частных производ-

ных, что создает дополнительные трудности при их исследовании. Если в задаче не требуется определять движение жидкости внутри полости, то ее влияние на твердое тело легче заменить вращающимися роторами. При этом число степеней свободы становится конечным, а математическая модель существенно упрощается. В этой связи результаты, полученные в данной работе, приобретают дополнительную ценность.

Математическая модель

Введем следующие системы координат (рис. 1): $OXYZ$ – кенигова система координат с началом в центре масс системы – точке O ; $Oxyz$ – система координат, жестко связанная с несущим телом (тело 4); $Ox_1y_1z_1$, $Ox_2y_2z_2$, $Ox_3y_3z_3$ – системы координат, жестко связанные с роторами (с телами 1, 2, 3 соответственно). Оси Ox_1 , Oy_2 , Oz_3 являются осями вращения соответствующих роторов и совпадают с осями системы координат, связанной со статором Ox , Oy , Oz . Положение тела 4 относительно системы $OXYZ$ характеризуется углами Эйлера. Положение роторов относительно статора описывается углами относительного закручивания α , β , γ тел 1, 2, 3.

Уравнения движения свободной системы соосных тел можно получить на основе теоремы об изменении кинетического момента [10], а также с помощью уравнений Лагранжа второго рода, соответствующих углам относительного закручивания:

$$\begin{cases} A\dot{p} + (C - B)qr + A_1\dot{\sigma}_1 + C_3q\sigma_3 - B_2r\sigma_2 = 0, \\ B\dot{q} + (A - C)pr + B_2\dot{\sigma}_2 + A_1r\sigma_1 - C_3p\sigma_3 = 0, \\ C\dot{r} + (B - A)pq + C_3\dot{\sigma}_3 + B_2p\sigma_2 - A_1q\sigma_1 = 0; \end{cases} \quad (1)$$