

Модели для определения показателей готовности ускорительной установки к эффективному использованию

А.А.Боровиков, Г.Н.Хромова

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, Протвино, Россия

Одной из проблем, которая встает перед создателями ускорительных установок, является аттестация этих сооружений. Предлагаем оценивать готовность ускорителя к использованию по следующим показателям: качеству конечного продукта работы установки, эффективности использования в конкретных задачах, уровню детерминированности действий оператора при управлении, уровню контроля безаварийных условий работы. Подход к определению первых двух показателей обсуждается в [1]. Разберем модельные представления для определения уровня детерминированности действий оператора и контроля безаварийных условий работы.

1. Опорные понятия и модели

Управление ускорительными установками не исключает участия человека. Поэтому обеспечение эффективной и безаварийной работы во многом определяется ответами на вопросы: существуют ли модели, позволяющие детерминировать действия персонала в процессе управления, а при наличии моделей, насколько обеспечены условия их использования в реальной работе. Создавая установку, разработчики изучают сложные переходные явления и исследуют процессы взаимодействия многих элементов. При этом широко применяются традиционные модели состояний в пространстве параметров. Использование установки в решении практических задач смещает акценты с исследовательских целей на эксплуатационные. Оставаясь в рамках традиционных представлений о состоянии установки, сложно формализовать процедуры включения, настройки, выключения и поиска неисправностей. Отсутствие формализмов при управлении такой установкой, как линейный ускоритель протонов [2], превращает работу в инженерное искусство [3]. Необходим поиск иных подходов к формализации принятия решений в процедурах управления.

Если традиционные модели описания состояний установки направлены на изучение динамики протекающих процессов, то предлагаемый подход основан на оценивании состояния установки по выполнению каждым ее элементом своего функционального назначения. Структурное разбиение установки при ее использовании предлагаем выполнять до уровня элементов, необходимых оператору при управлении. Работа установки обеспечивается взаимодействием элементов ее структурного разбиения. Каждому элементу в соответствии с технологическим процессом отводится определенная функциональная роль. *Конечным продуктом работы элемента структурного разбиения установки будем считать результат выполнения элементом своего функционального назначения.*

Конечный продукт представим множеством его характеристик Y . В общем случае на характеристики Y накладываются два типа ограничений. Первые ограничения диктуются условиями функционирования установки как единого объекта. Работа каждого элемента должна обеспечивать получение на выходе установки ее конечного продукта и не создавать аварийных условий для работы зависимых элементов. Такие ограничения определяются создателями установки с учетом выбранного режима работы. Назовем эти условия технологическими. Границы технологических условий задаются множествами Y_{min}^t и Y_{max}^t . Второй тип ограничений связан с условиями, которые позволяют в заданном режиме поддерживать требуемое качество конечного продукта ускорителя (пучка ускоренных частиц). Назовем их условиями, зависящими от требований пользователя, и зададим множествами Y_{min} и Y_{max} .

Состояние элемента структурного разбиения будем оценивать по состоянию его конечного продукта. Каждому элементу по правилам из [4] присвоим одно из трех состояний множества $\{C1, C2, C3\}$: $C1$ — элемент не выполняет своего функционального назначения; $C2$ — элемент работает, но характеристики Y не отвечают заданным требованиям; $C3$ — характеристики Y укладываются в допустимые границы. Элемент находится в состоянии $C1$, когда выполняется включение/выключение установки или когда при работе появляется неисправность данного элемента. Элемент находится в состоянии $C2$, если не настроен на заданный режим после включения или возникла его расстройка при работе на пользователя.

Состояние установки, выраженное через состояния элементов ее структурного разбиения, назовем детальным состоянием. Поскольку каждый элемент находится в одном из трех состояний множества $\{C1, C2, C3\}$, то детальное состояние представим набором таких множеств. Построим матрицу состояний S [5], имеющую размерность $n \times 3$, где n — число элементов структурного разбиения установки. Значение элемента матрицы s_{ij} равно 1, если i -элемент находится в j -состоянии, и 0 — в ином случае. Когда установка выключена, $s_{i1} = 1$, $s_{i2} = s_{i3} = 0$; в режиме нормальной работы $s_{i1} = s_{i2} = 0$, $s_{i3} = 1$. Все иные заполнения матрицы отражают промежуточные состояния установки. *Считаем установку наблюдаемой, если имеется возможность однозначно определять ее детальное состояние в любом режиме работы.*

Работа каждого элемента поддерживает конкретный технологический процесс, определяемый множеством технологических параметров Z данного процесса. Выделим три способа определения состояния элемента. Первый состоит из прямого измерения характеристик Y и оценивания их по правилам из [4]. Эта оценка наиболее достоверна. Второй способ основан на определении состояния элемента по значениям его технологических параметров (косвенное определение). Достоверность результатов, полученных вторым способом, зависит от того, существуют ли взаимно однозначные связи между Y и Z . Взаимосвязи выявляются на стадии стендовых испытаний. Если они найдены, то в правилах оценивания часть значений из множеств Y_{min}^t , Y_{max} , Y_{max}^t заменяется значениями из множеств Z_{min}^t , Z_{min} , Z_{max} , Z_{max}^t . При этом *детерминизм работы элемента определим как свойство элемента производить конечный продукт с одними и теми же характеристиками (в пределах допустимых погрешностей) при одних и тех же значениях его технологических параметров.*

Третий способ, возможно, самый сложный, это оценивание состояния конечного продукта по результатам взаимодействия элементов.

2. Определение уровня детерминированности действий оператора

Управление установкой в режиме ее использования — это выполнение процедур включения, настройки, выключения установки и восстановление нормальных технологических условий работы при возникновении неисправностей. Процессы включения, настройки и выключения установки представляются как процессы включения, настройки и выключения совокупности элементов ее структурного разбиения. Введенные понятия позволяют говорить о модели процесса управления, как о выполнении двух процедур: 1) определение текущего детального состояния установки; 2) выполнение последовательности шагов по переводу установки из текущего состояния в заданное. Под управляемостью установки будем понимать возможность перевода ее элементов из одного состояния в другое за определенное время.

Формализация процесса управления установкой при ее использовании — это представление процедур управления набором формальных правил, дающих возможность оперативному персоналу включать, настраивать, выключать установку и восстанавливать условия безаварийной работы элементов, не вдаваясь в физику протекающих в них процессов. Процесс управления представляем двумя процедурами: процедурой определения текущего детального состояния и процедурой выполнения последовательности шагов по включению, настройке и выключению элементов для перевода из текущего состояния в заданное.

Вторая процедура, как правило, формализуется на основании инструкций, составленных разработчиками систем для обслуживающего персонала. Если известно состояние установки в конкретный момент времени, то инструкция регламентирует действия оператора, задавая что можно делать, а что нельзя. Для формализации инструкций возможно использовать матрицу состояний S . Инструкция перекладывается на язык последовательных изменений содержимого матрицы S , а само содержимое может отображаться для оператора.

Детерминировать действия оператора можно только при автоматизации процедуры оценивания текущего состояния установки и ее элементов. Поэтому неизменным условием при организации использования ускорительных установок, учитывая их масштабность и необходимость одновременного контроля многих параметров, считаем автоматизацию первой процедуры. Автоматизация процесса определения состояния возможна при выполнении двух условий: обеспечении наблюдаемости детального состояния установки; обеспечении детерминированности работы как отдельных элементов, так и установки в целом.

Уровень детерминированности действий оператора предлагаем оценивать по ответам на следующие вопросы: имеются ли элементы, состояния которых ненаблюдаемы, и сколько их; имеются ли существенные параметры, которые не выявлены. Если не для всех элементов имеется возможность определять их состояния, а влияние скрытых параметров приходится компенсировать изменениями известных управляемых, то требуется оценить, насколько это усложняет процесс управления и каким уровнем знаний должен обладать оператор. Предложенные модели дают критерии для определения — все ли сделано для оператора, чтобы он выполнял действия осознанно.

3. Уровень контроля безаварийных условий работы

Аварийные ситуации возникают по двум причинам — выход из строя конкретного элемента и неправильные действия персонала при переводе установки из одного состояния в другое. Работа любой установки построена на взаимодействии элементов ее структурного разбиения, когда работа одних элементов определяет технологические условия работы других, от них зависящих. Именно этим объясняется последовательность действий при включении, настройке и выключении. Таким образом, условия безаварийной работы заложены во взаимодействии элементов. Контроль этих условий можно выполнять, контролируя состояния элементов.

Для каждого элемента a_i , $i = 1, \dots, n$, где n — число элементов структурного разбиения установки, составим список L_i из тех элементов, которые определяют технологические условия его работы (контрольные списки). Для некоторых элементов списки могут быть пустыми. *Технологические условия работы элемента a_i считаем безаварийными, если ни один элемент установки, входящий в его контрольный список L_i , не находится в состоянии С1. Состояние установки при работе на пользователя считаем безаварийным, если технологические условия работы каждого элемента установки признаны безаварийными.* Общим подходом при устранении нарушений считаем восстановление технологических условий работы каждого элемента. Если оператор не может восстановить функции вышедшего из строя элемента, он должен по заранее предусмотренному сценарию отключить те из них, технологические условия работы которых нарушаются.

Каждому списку L_i поставим в соответствие матрицу состояний, составленную для входящих в список элементов, — матрицу S_{ai} . Контроль выполнения условий безаварийности работы установки проводим по анализу содержимого матриц состояний $\{ S_{ai} \}$. Уровень контроля безаварийных условий работы оцениваем по выполнению следующих программ при подготовке установки к использованию: составление списков L_i и матриц S_{ai} , $i = 1, \dots, n$; создание средств для заполнения и регулярного обновления содержимого матриц S_{ai} ; создание средств для анализа содержимого матриц S_{ai} с помощью ЭВМ и/или с помощью визуального контроля оператором.

Уровень обеспеченности безаварийного управления можно проверять по ответам на следующие вопросы: 1) насколько полно сформулированы условия безаварийной работы для установки в целом и для каждого элемента ее структурного разбиения; 2) обеспечен ли контроль их выполнения; 3) имеет ли обслуживающий персонал схемы действий по восстановлению безаварийных технологических условий в случае появления нарушений; 4) есть ли возможность контролировать действия персонала в критических ситуациях.

Заключение

Введенные понятия и модели позволяют анализировать уровень достигнутого при подготовке ускорителя к эксплуатации. Можно говорить, что установка доведена до промышленного образца, если: 1) работа каждого элемента и установки в целом детерминирована; 2) реализованы процедуры автоматического определения текущих состояний; 3) сформулированы и контролируются технологические условия безаварийной работы элементов.

Таблица 1: Некоторые элементы первого уровня структурного разбиения ускорителя протонов и соответствующие им конечные продукты.

Элемент структурного разбиения	Функциональное назначение	Конечный продукт работы элемента	Основные характеристики конечного продукта
Система инъекции ионов (элемент 1)	Создание пучка ускоренных ионов	Пучок инжектируемых ионов P_0	Ток пучка в импульсе I_0
			Длительность и форма импульса I_0
			Энергия пучка W_0
			Фазовый объем пучка ε_0
Массовый состав пучка A_0			
Канал согласования (элемент 2)	Фильтрация пучка частиц по массовому составу и энергии и создание оптимальных условий ввода пучка в систему ускоряющих структур	Функция преобразования $F = P_0 \rightarrow P_1$ 1) фильтрация пучка $f1: A_0 \rightarrow A_1$ $W_0 \rightarrow W_1$ 2) согласование фазового объема пучка с характеристиками входа ускоряющих структур $f2: \varepsilon_0 \rightarrow \varepsilon_1$	Однородность пучка P_1 по энергии W_1 и массовому составу A_1 на входе в систему ускоряющих структур
			Мера согласованности фазового объема ε_1 пучка P_1 со входом системы ускоряющих структур
Система ускоряющих структур (элемент 3)	Захват, фокусировка и ускорение пучка частиц до требуемой энергии	Ускоряющие и фокусирующие поля для формирования на выходе утановки пучка протонов P_2 , обладающего заданными характеристиками	Величины ускоряющих и фокусирующих сил (косвенное оценивание по взаимодействию с системой ВЧ питания и величине токопрохождения)
Система ВЧ питания (элемент 4)	Ввод ВЧ мощности в ускоряющие структуры и создание стабильных колебаний ВЧ поля в резонаторах	Импульс высоковольтного высокочастотного напряжения $U_{вч}$	Рабочая частота $f_{вч}$
			Амплитуда огибающей импульса вводимой мощности $U_{пад}$
			Отношение амплитуд падающего $U_{пад}$ и отраженного $U_{отр}$ сигналов
			Уровень спада ВЧ поля в резонаторе под пучком

Список литературы

- [1] Боровиков А.А., Хромова Г.Н. Автоматическое оценивание работы линейного ускорителя. Доклад данного совещания.
- [2] Егоров А.А. и др. /ЖТФ, 1981, т.51(8). С.1643-1647.
- [3] Зенин В.А. Препринт ИФВЭ 91-57, Протвино, 1991.
- [4] Боровиков А.А., Хромова Г.Н. Препринт ИФВЭ 96-33, Протвино, 1996.
- [5] Боровиков А.А., Хромова Г.Н. Приборы и системы управления, 1995, 7. С.27-31.

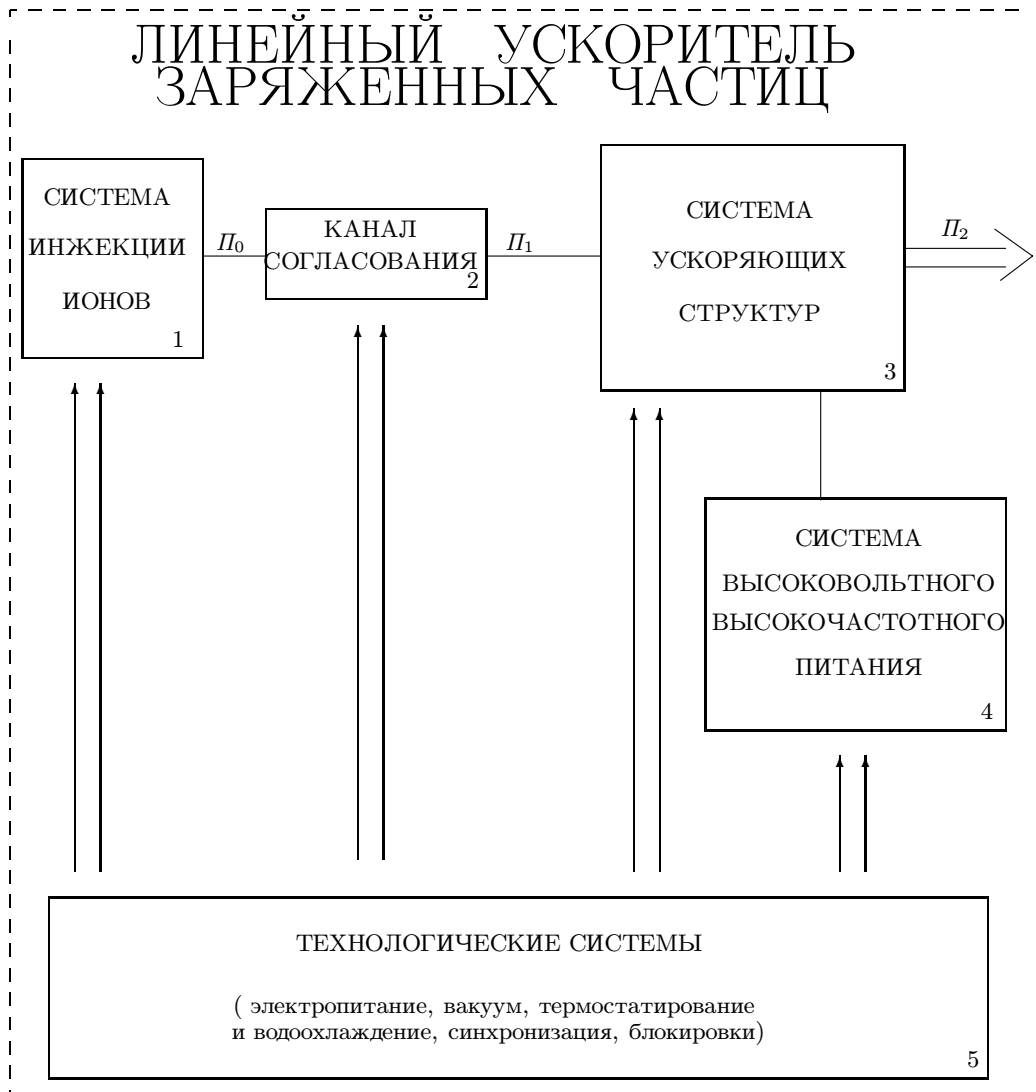


Рис. 1: Упрощенная схема линейного ускорителя для первого уровня структурного разбиения: P_0 , P_1 , P_2 - пучок заряженных частиц в трех точках установки; P_2 - конечный продукт работы установки.

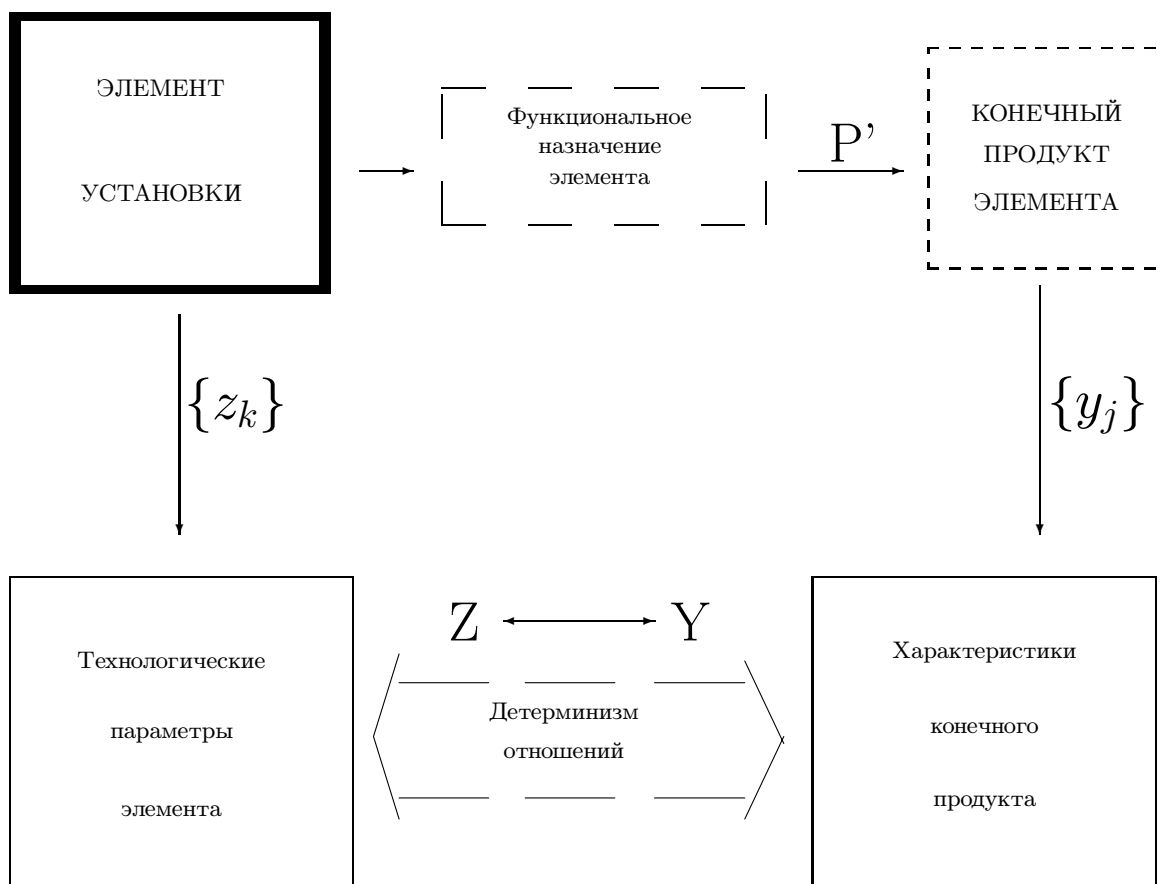


Рис. 2: Схема взаимосвязей между понятиями, описывающими работу элементов структурного разбиения установки.