

УДК 007; 681.3

СТАБИЛИЗАЦИЯ УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОГЕННО ОПАСНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ С ПОМОЩЬЮ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

И.В. МАКСИМЕЙ¹, доктор технических наук, профессор

В.С. СМОРОДИН², кандидат физико-математических наук, доцент

¹Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, г. Гомель, Беларусь

²Гомельский инженерный институт МЧС Республики Беларусь, г. Гомель, Беларусь

Сообщается о возможности организации управления технологическим процессом производства реального времени с помощью комплекса имитации. Излагаются технология управления производственным процессом и методика контроля состояния индикаторов системы.

Ключевые слова: стратегия резервирования, отказы оборудования, технологические процессы опасного производства.

Введение. Нынешний этап развития производства характеризуется внедрением и использованием новых технических систем, которые базируются на средствах вычислительной техники, включают в свой состав измерительные и управляющие комплексы, технологическое оборудование и обслуживающий персонал. Исследование подобных производственных систем традиционными математическими методами не представляется возможным, поскольку их поведение описывается таким большим количеством математических соотношений, что найти решения возникающих задач в приемлемое время нельзя даже с помощью мощных ЭВМ, в связи с чем имитационное моделирование по сути стало одним из немногочисленных методов решения подобного рода задач. С процессом переоснащения производства тесно связаны вопросы повышения надежности и безопасности осуществления производственной деятельности, так как недооценка важности комплекса работ в данном направлении может привести либо к трагическим последствиям (Чернобыльская техногенная авария), либо к неоправданным расходам (убытки от техногенной аварии на московских электросетях, по данным средств массовой информации России, составили около одного миллиарда долларов США), поэтому разработка программного обеспечения систем интеллектуального анализа данных и поддержки принятия решений для обеспечения возможности принимать решения, опираясь на результаты реальных измерений и анализ состояния оборудования, представляется актуальной.

Описание объекта исследования. В качестве объекта управления используется технологический процесс производства (ТПП), имеющий малую скорость реа-

лизации выполнения взаимосвязанных технологических операций ($TХО_{ij}$), определенный в виде графовой структуры и обладающий иерархической организацией. Запросы ресурсов ТПП каждой $TХО_{ij}$ являются случайными величинами. Возможны также вероятностные связи между $TХО_{ij}$ внутри ТПП. Для такого рода ТПП известные аналитические модели [1] неприменимы из-за вероятностных значений запросов ресурсов, времени и стоимости выполнения технологических операций. Для исследования динамики ТПП нами использовались имитационные модели (ИМ) вероятностных сетевых графиков (ВСГР) [2], которые оперативным образом можно создавать с помощью системы автоматизации имитационного моделирования (САИМ) [3]. Поскольку рассматриваемые в данной работе ТПП имеют малую скорость реализации, то будущую ситуацию в ТПП с некоторым интервалом упреждения (τ_{up}) можно экстраполировать в системе принятия решений SPRESH, чтобы в дальнейшем иметь возможность нужным образом воздействовать на производственный процесс. Малая скорость развития ТПП в ряде случаев позволяет выработать необходимые воздействия на него со стороны SPRESH, которые на интервал времени τ_{up} проверены на комплексе имитационного моделирования (КИМ). В данной работе рассматривается конфигурация, когда КИМ состоит из системы SPRESH, имитационной модели ТПП агрегатного типа и эксперта-технолога (EXPERT). Ниже излагается технология управления ТПП с помощью КИМ, которая основывается на построении и анализе ИМ ВСГР для производственной системы, представленной в виде графовой структуры.

Состав характеристик и параметров управления медленно развивающегося потенциально опасного технологического процесса. На рис.1 приведена структура взаимодействия компонентов управления медленно развивающимся ТПП. От регистров h -го варианта реального ТПП на SPRESH поступают значения характеристик оборудования ТПП (G_h^*), индикаторов «наработки» r -го номера оборудования $\{ind_r^*\}$, возможные реакции ТПП на ситуации в самом ТПП или его оборудовании $\{\alpha_k^*\}$, признаков появления аварии (π_{abr}^*) на r -х устройствах оборудования, компонентов вектора индикаторов состояний ТПП $\{z_f^*\}$, компонентов вектора параметров управления $\{u_f^*\}$, статистики и отклики функционирования ТПП ($\{ST_h^*\}$, $\{Y_{mh}^*\}$). Эти индикаторы формируются специальными схемами контроля и управления функционированием оборудования и передаются в базу данных модели (БДМ). В свою очередь, SPRESH посылает на регистры ТПП значения следующих переменных: вновь модифицированных характеристик надёжности оборудования и запросов $TХО_{ij}$ ресурсов ТПП (G_z^*), начальное значение параметра выполнения ТПП ($\{X_{mh}^*\}$); набор управляющих воздействий на оборудование ТПП со стороны SPRESH ($\{\alpha_k^*\}$); компонентов множества корректирующих воздействий SPRESH на управляющие

переменные $\{\Delta u_f^*\}$.

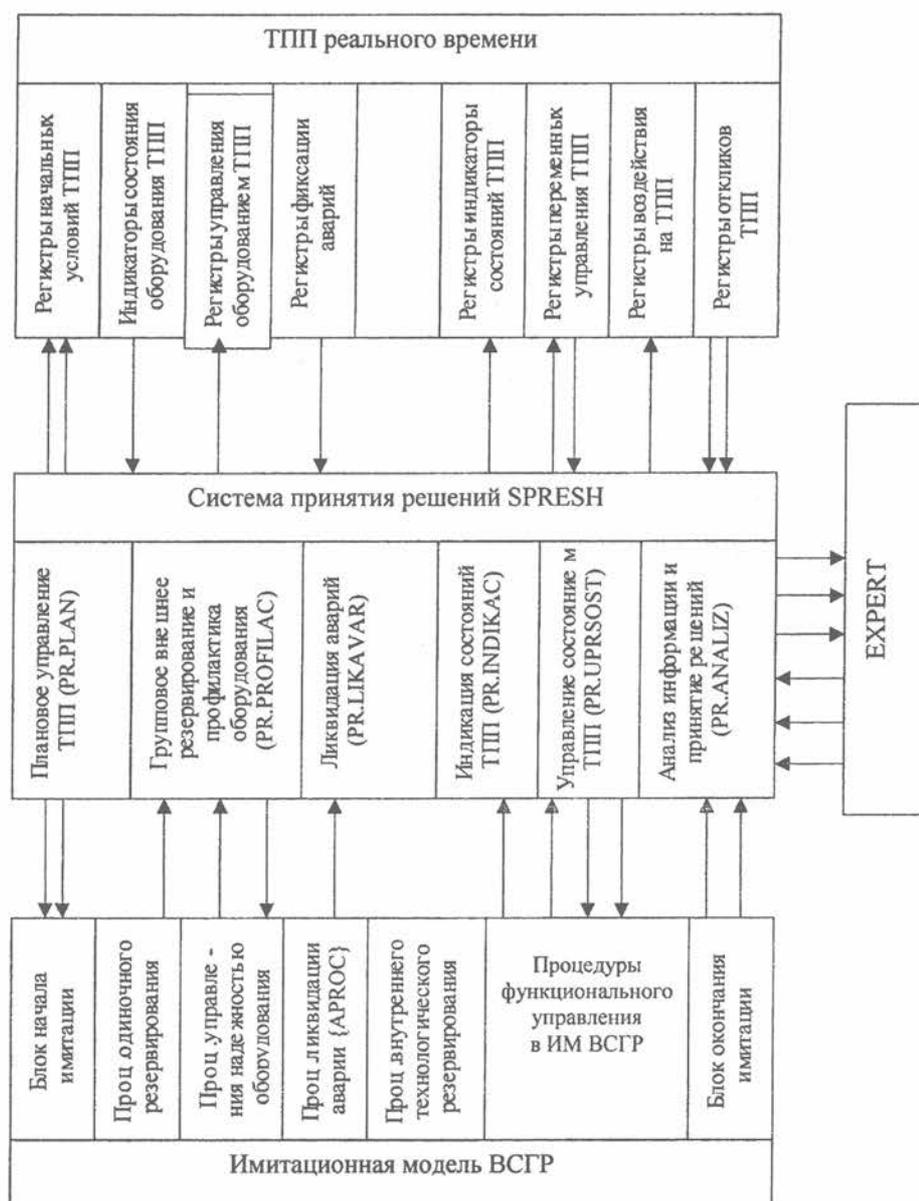


Рисунок 1 - Структура взаимодействия ТПП и компонентов управления

От h -го варианта ИМ ВСГР на SPRESH поступают следующие модельные характеристики ТПП: оборудования ТПП и запросы агрегатов $ATOP_{ij}$ [2] на ресурсы ИМ ТПП $\{G_h\}$; характеристики индикаторов наработки агрегатами оборудования $\{ind_r\}$ номера r ; возможные реакции ИМ ТПП на ситуации в ИМ ВСГР $\{\alpha_k\}$, значения компонентов вектора индикаторов состояний $\{z_f\}$, компонентов вектора параметров управления $\{u_f\}$ моделью ТПП; статистик и откликов функционирования ИМ ВСГР $\{ST_h\}$ и $\{Y_{mh}\}$. Эти индикаторы формируются агрегатами-имитаторами оборудования, агрегатами-имитаторами выполнения TXO_{ij} и агрегатами-

имитаторами событий (SOB_j) в ВСГР ($ATOP_{ij}$ и $ASOB_j$). От SPRESH на ИМ ВСГР поступают значения следующих переменных: модифицированные значения характеристик надёжности оборудования и запросов $ATOP_{ij}$ ресурсов ТПП (G_h); значения параметров выполнения ТПП $\{X_{mh}\}$; управляющих воздействий на имитаторы оборудования $\{\alpha_k\}$, корректирующих воздействий SPRESH на ИМ ВСГР (Δu_f). В состав КИМ входит также технолог ТПП, построивший ИМ ВСГР и пытающийся через SPRESH воздействовать на ИМ ВСГР и реальный ТПП. Для связи с SPRESH специалист предметной области (EXPERT) использует множество воздействий θ_q , которые с одной стороны понятны человеку-эксперту, а с другой стороны используются SPRESH для внутреннего взаимодействия в процессе функционирования КИМ. Поэтому в составе SPRESH имеется блок связи с EXPERTом, являющийся переводчиком между SPRESH, ИМ ВСГР, реальным ТПП и EXPERTом.

Состав и структура комплекса имитации технологических процессов опасного производства. В состав комплекса имитационного моделирования входят: система принятия решений SPRESH, имитационная модель вероятностного сетевого графика (ИМ ВСГР), специалист предметной области (EXPERT), наблюдающий за развитием ТПП во времени и осуществляющий управляющие воздействия на реальный ТПП. КИМ функционирует параллельно медленно развивающемуся реальному ТПП. Кроме того, КИМ используется для выбора рационального варианта организации ТПП с помощью результатов имитационного эксперимента (ИЭ). Рассмотрим структуру и состав каждого компонента КИМ.

SPRESH состоит из набора процедур управления ТПП: планирование управления ТП ($PR.PLAN$); внешнего резервирования и профилактики оборудования ТПП ($PR.PROFILAC$); ликвидации аварий ($PR.LIKAVAR$); индикации состояний ТПП ($PR.INDIKAC$); управление состоянием ТПП ($PR.UPRSOST$); анализа информации и принятия решений ($PR.ANALIZ$). Как видно из рис.1, SPRESH функционирует в двух режимах: оперативного управления медленно развивающимся реальным ТПП (режим 1), имитационного моделирования развития ТПП с помощью ИМ ВСГР (режим 2). Система SPRESH организует внешнее резервирование оборудования и его переход на профилактику с помощью анализа значений этих индикаторов процедуры $PR.PROFILAK$.

ИМ ВСГР представляет собой результат сочетания методик сетевого планирования, имитационного моделирования и процедур Монте-Карло. Основу ИМ ВСГР составляет множество агрегатов-имитаторов: выполнение TXO_{ij} ($ATOP_{ij}$), свершения событий SOB_j в ВСГР ($ASOB_j$); функционирование r -го номера оборудования индивидуального и общего пользования ($AOBIN_r$ и $AOBOP_r$), выполнение процедур ликвидации аварий ($APROC_k$). Агрегаты $ATOP_{ij}$ имитируют две стороны выполнения TXO_{ij} в ИМ ВСГР: технологию их выполнения в ТПП и выполнение

функций TXO_{ij} в ИМ ВСГР. Агрегаты-имитаторы $AOBIN_r$, $AOBOP_r$ и агрегаты-процедуры $\{APROC_k\}$ используются для отображения технологии выполнения ТПП. Агрегаты $ASOB_j$ являются многополюсниками с различным числом входов и выходов и используются для имитации свершения событий в ВСГР и запуска соответствующих $ATOP_{ij}$. С помощью комбинаций различных типов кустовых выходов и определения разветвлений этих выходов эксперту-технологу предоставляется возможность внутреннего технологического регулирования выполнением $\{ATOP_{ij}\}$ в зависимости от операционной обстановки в ТПП.

В ИМ ВСГР предусмотрено автоматическое индивидуальное резервирование оборудования, которое включается при достижении фактической наработки имитатора оборудования его критического значения. До начала имитации технолог устанавливает для каждого устройства порог Q_{or} этой наработки. Фактическая наработка Q_{fr} накапливается на индикаторе Ind_r путем добавления к накопленной сумме некоторого приращения ΔQ_{fr} при каждом использовании r -го устройства. С интервалом τ_{izm} значения $\{Ind_r\}$ посылаются в SPRESH для обеспечения внешнего управления ИМ ВСГР.

Третьей составляющей КИМ является эксперт-технолог (EXPERT), который взаимодействует только с SPRESH (см. рис.1) в двух режимах: чтение информации от SPRESH и записи управляющей информации для SPRESH, которая формируется в тех случаях, когда необходимо экстренное вмешательство человека-технолога в режим имитации ТПП. С помощью ряда воздействий $(\theta_1 \div \theta_3)$ SPRESH информирует EXPERTа о ситуации в ИМ ВСГР с помощью таблиц, графиков, временных диаграмм использования оборудования, в то время, как EXPERT формирует управляющие воздействия $(\theta_4 \div \theta_6)$ для SPRESH, которые необходимы для оперативной корректировки течения процессов в ИМ ВСГР.

Особенности технологического и функционального управления имитационной моделью. Организация технологического управления надёжностью выполнения ИМ ВСГР рассмотрена в работах [2, 3, 4]. Полученная с помощью САИМ [3] ИМ ВСГР позволяет с помощью КИМ дополнительно организовать функциональное управление медленно развивающимся ТПП. Рассмотрим особенности организации каждого вида управления ИМ ВСГР.

Технологическое управление надёжностью функционирования оборудования может быть организовано с помощью SPRESH внешнее управление оборудования либо с помощью группового резервирования оборудования, либо путём перехода на профилактику всего оборудования ТПП; с помощью ИМ ВСГР обеспечивается внутреннее управление оборудованием либо организацией одиночного резервирования устройств, либо путём переключения отдельных имитаторов устройств оборудо-

вания на режим профилактики с приостановкой имитации на время этой профилактики.

Другим способом имитации внутреннего управления оборудованием в ВСГР является розыгрыш жребия «появления аварии» r -го оборудования и ликвидации её множеством агрегатов $\{APROC_k\}$. Для этой цели алгоритмы агрегатов-устройств в ИМ ВСГР имитируют свою работу в 2-х состояниях: работоспособном (S_1) и восстановление работоспособности (S_2). Имеет место циклический переход этих агрегатов из S_1 в S_2 , а затем снова в S_1 . Длительность нахождения агрегатов номера r в этих состояниях являются случайными функциями, определяемые по функциям их распределения $\Phi_{1r}(\tau)$ и $\Phi_{2r}(\tau)$. Процесс имитации этих агрегатов продолжается только в режиме прямой имитации до достижения реализации (согласно процедуре Монте-Карло) равного N . Алгоритм выработки отказов функционирования агрегатами оборудования подробно изложен в работах [2, 3]. При срабатывании с вероятностью P_{abr} жребия «произошла авария» проверяется тип аварии. Если авария оказалась сложной, то в SPRESH посылается признак $\pi_{abr} = 1$, которая инициирует ликвидацию аварии с помощью внешней цепочки процедур $\{APROC_k\}$. Когда авария обычного типа, то ИМ ВСГР сама организует внутреннюю ликвидацию аварии с помощью другой цепочки процедур $\{APROC_k\}$ аналогичным образом.

Особенностью организации контроля функций взаимосвязанных TXO_{ij} является использование второй части алгоритма имитации $ATOP_{ij}$. Для каждого $ATOP_{ij}$ она представляет собой подмодель информационного его взаимодействия с другим $ATOP_{jk}$, которое осуществляется через вектор переменных функциональной связи $B = (b_1, \dots, b_k)$. Алгоритмы $ATOP_{ij}$ читают и модифицируют значения компонентов этого вектора, имитируя функционально информационную связь компонентов ИМ ВСГР. Второй группой информационного взаимодействия является вектор переменных управления ИМ ВСГР $U = (u_1, u_2, \dots, u_k)$, которые модифицируются только с помощью специально предназначенных агрегатов $ATOP_{ij}$, обеспечивая частичную корректировку компонентов вектора состояний (z_f) ИМ ВСГР путём увеличения или уменьшения u_f соответственно на величину (Δu_f^+ и Δu_f^-). Третьей группой глобальных переменных ИМ ВСГР является вектор индикаторов состояний ИМ ТПП $Z = (z_1, z_2, \dots, z_f)$. Алгоритмы $ATOP_{ij}$ в режиме контроля за функционированием TXO_{ij} формируют значения компонентов этого вектора $\{z_f\}$. Компоненты вектора Z , используемого для контроля, имеют допустимые пределы изменения, задаваемые в таблице $TZ = (z_f^-, z_f^+)$, где z_f^-, z_f^+ - соответственно верхние и нижние границы индикатора z_f . Допустимые границы индикаторов в таблице TZ технолог указывает ИМ ВСГР до остановки ИЭ. В процессе анализа выхода за допустимые границы

$АТОР_{ij}$ вырабатывает значение компонентов вектора модификации, которые равны $\pi_f = -1$ когда $z_f < z_f^-$ и $\pi_f = +1$ когда $z_f > z_f^+$. После формирования вектора компонентов корректировки $\{\pi_f\}$ они передаются в «теле» действительного сигнала Sgd на $ASOB_j$. На этом функциональная часть $АТОР_{ij}$ завершает свою работу, и далее выполняется алгоритм технологической части $АТОР_{ij}$, рассмотренный ранее. В $ASOB_j$ «тело» Sgd используется алгоритмом обслуживания 4-го типа выходов следующим образом. Перед началом имитации технолог для каждого SOB_j формирует булеву матрицу $D_j = \|d_{jrk}\|$, компонентами которой являются указатели d_{jrk} запуска Sgd по разветвлениям номера k . Строками r этой матрицы являются номера входов $ASOB_j$. Результат умножения d_{jrk} и π_f определяет на каком из разветвлений выхода 4-го типа необходимо выработать Sgd , который активизирует $АТОР_{is}$, который корректирует значения компонентов вектора U с помощью вектора компонентов корректировки переменных управления $\{\pi_f\}$. После посылки множества $\{Sgd\}$ корректировки и активизации соответствующих $АТОР_{js}$, $ASOB_j$ переходит в состояние ожидания инверсных сигналов от $АТОР_{js}$.

Организация оперативного управления технологическим процессом производства с помощью комплекса имитации. Из рис.1 видно, что EXPERT непосредственно взаимодействует с SPRESH по двум причинам. Во-первых, скорость реакции человека значительно ниже скорости обработки управляющей информацией системой SPRESH. Поэтому в качестве буфера обмена между ними используется база данных модели. Во-вторых, информация о состояниях ТПП EXPERTу нужна в виде, удобном для ее восприятия специалистом-предметником. В качестве входной информации технолог использует следующую: отображение индикаторов состояния оборудования (θ_1), график использования ресурсов и диаграммы работы оборудования (θ_2), а также таблицы интегральных откликов и статистик моделирования (θ_3). Отметим, что на динамику имитации ВСГР влияют следующие управляющие воздействия эксперта-технолога: немедленный останов имитации (θ_4); переход на профилактику или групповое резервирование оборудования (θ_5); установка новых начальных значений $\{X_{mh}\}$ или модификация диапазонов изменения индикаторов состояния ТПП $TZ = \{z_f^-, z_f^+\}$, а также модификация содержимого таблицы корректировки (Δu_f) управляющих воздействий вектора U .

Перед каждой реализацией ВСГР эксперт может менять начальные воздействия $\{X_{hs}\}$ на ИМ ВСГР и характеристики G_h запроса ресурсов TXO_{ij} . Такой подход превращает КИМ в инструмент управления динамикой реализации ТПП. Это особенно важно, когда имитация на ИМ ВСГР происходит с интервалом упреждения τ_{up}

функционирования реального ТПП, и результаты имитации на ИМ ВСГР можно учесть при модификации переменных управления ТПП для контроля за состоянием оборудования.

Особенно эффективно использование КИМ в тех случаях, когда интервалы времени τ_{SOB_j} , полученные на модели, между чрезвычайными событиями в медленно развивающемся ТПП достаточны для оперативного управления. Кроме того, важной задачей использования ИМ ВСГР является постановка серий ИЭ по методике Монте-Карло для нахождения зависимостей в модельном времени $z_f(t_0)$ и $u_f(t_0)$.

В дальнейшем эти зависимости используются для сравнения полученных модельных с реальными значениями этих характеристик: $z_f(t_0)$ с $z_f^*(t)$ и $u_f(t_0)$ с $u_f(t)$, где t_0 и t – соответственно моменты времени в ИМ ВСГР и реальном ТПП. Если для всех компонентов этих векторов различие находится в пределах ошибки имитации ($|z_f(t_0) - z_f^*(t)| < \delta$; $|u_f(t_0) - u_f(t)| < \delta$), то это означает, что достигнута адекватность ИМ ВСГР в динамике реализации управления ТПП с помощью комплекса имитационного моделирования.

Заключение. Предложенная методика управления ТПП с помощью КИМ позволяет достичь следующих целей: выбрать рациональный вариант состава ресурсов ТПП, который обеспечит необходимый уровень надёжности работы оборудования для безаварийного функционирования ТПП; оперативно изменять характеристики реализации ТПП для обеспечения течения ТПП в допустимых пределах изменения индикаторов его функционирования. При этом технолог может решать ряд типовых задач проектного моделирования ТПП: оценка и регулировка суточной пропускной способности вариантов ТПП и суммарной стоимости их реализации при заданном составе ресурсов, оборудования и исполнителей; нахождение и ликвидация «узких мест», включая определение опасных траекторий реализации TXO_j в составе ТПП; оперативный контроль критических ситуаций.

Использование САИМ [3] для построения ИМ ВСГР и организация КИМ в среде САИМ существенно повышают уровень технологии создания и совместной эксплуатации ИМ ВСГР с реальным ТПП. Поэтому, с нашей точки зрения, предложенная методика управления ТПП является перспективной и обеспечивает высокую практическую значимость использования ИМ для контроля за функционированием реальных ТПП.

Обозначения

ТПП – технологический процесс производства; TXO_j – технологическая операция; ИМ – имитационная модель; ВСГР – вероятностный сетевой график; САИМ – система автоматизации имитационного моделирования; SPRESH – система принятия решений; КИМ – комплекс имитационного моделирования; БДМ – база данных модели; ИЭ – имитационный эксперимент.

Литература

1. Максимей И.В., Жогаль С.П. Задачи и модели исследования операций. Ч. 1. Аналитические модели исследования операций: Учебное пособие. – Гомель: БелГУТ, 1999. – 110 с.
2. Максимей И.В., Смородин В.С., Сукач Е.И. Способ моделирования агрегатами технологических процессов опасного производства // Электронное моделирование. – 2005. – Т. 27, № 6. – С. 101 – 109.
3. Максимей И.В., Смородин В.С., Сукач Е.И. Система автоматизации экспериментов, реализующая агрегатный способ имитации технологических процессов // Информатика. – 2005. – № 1. – С. 25 – 31.
4. Максимей И.В., Смородин В.С., Сукач Е.И., Украинец А.А., Соболев И.В. Инструментальная система имитации и анализа характеристик надежности опасного производства // Реєстрація, зберігання і обробка даних (Data Recording, Storage & Processing). – 2004. – Т. 6, N 4. – С. 66 – 75.

I. V. Maximey, V. S. Smorodin Stabilization of level of reliability of dangerous operated manufacture complexes by means of simulation modeling

About the possibility of organization of governing by technological process of realtime manufacture by means of complex of imitation is reported. The technology of governing by manufacture process and strategy of checking of system indicators are stated.

Keywords: strategy of standbys, refusals of equipment, technological processes of dangerous manufacture.