

УДК 621.316.7+519.7

**ИНТЕРАКТИВНАЯ МОДЕЛЬ-ТРЕНАЖЕР ДЛЯ ПОДГОТОВКИ
ДИСПЕТЧЕРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ
МНОГОПОЗИЦИОННОЙ СЕТИ ПЕТРИ**

А.Н. Кудряшов, Е.Н. Алешин (Санкт-Петербург)

Введение

Диспетчер – это специалист, который контролирует и координирует технологические процессы: работу транспорта, производство, сервисы и др., обеспечивая их бесперебойную и эффективную работу. В самом общем случае он является связующим звеном между потребителями, сотрудниками, руководителями и техническими системами, отвечающим за получение, обработку и передачу информации, принятие решений в реальном времени и предотвращение нарушений или аварий. В настоящее время все более настойчиво идет внедрение программных разработок, использующих т.н. «искусственный интеллект», в том числе и на различных диспетчерских пунктах управления, вплоть до идей о переходе к автоматическим диспетчерам. Однако во всем должен быть здравый смысл и чувство меры. Во-первых, совершенно достоверно, что за всеми разработками систем искусственного интеллекта (СИИ) стоит естественный интеллект разработчиков со всеми его достоинствами и недостатками. Во-вторых, упомянутые технологические процессы (ТП) различны по сложности, упорядоченности, глобальности, ответственности и т.д., соответственно и степень участия СИИ должна быть различной. Так, например, запись к врачу в простых случаях может производить робот, а вот автомобильный навигатор или другой подобный справочник должен только подсказывать. Очевидно, что в ближайшее обозримое время не востребованность ответственных, нацеленных на результат и одновременно высокопрофессионально подготовленных операторов-диспетчеров в большинство отраслей человеческой деятельности, связанных с перемещением чего-либо в пространстве (функционирование перерабатывающих предприятий, конвейеров, организация движения транспорта, воздушных, космических подвижных объектов) вряд ли возможна. Для повышения качества подготовки таких операторов, способных в условиях дефицита времени принимать решения по демпфированию нештатных ситуаций и достижению поставленных целей, видится полезным использование тренажерных систем с включенной в состав их математического обеспечения предлагаемой модели.

Основная часть

Структура управляемого диспетчером технологического процесса в зависимости от его типа может задаваться технологией производства, расписаниями движения поездов, полетов самолетов, временным графиком работы бортовой аппаратуры космического аппарата и т.д. Исходя из них формируется и реализуется комплекс операций управления ТП, то есть комплекс операций преобразования сведений о состоянии объекта управления и воздействиях среды в управляющее воздействие [1], имеющий в свою очередь свою специфическую структуру.

Это структура, представляющая собой совокупность реализуемых в процессе управления технологических операций (ТОУ), направленных на достижение целей, стоящих перед системой, и логико-временных взаимосвязей между ними, построенных с учетом ресурсов, необходимы для выполнения указанных операций [2]. С одной стороны, она является весьма жесткой конструкцией, определяющей дисциплину технологического процесса. С другой стороны, она может обладать явной и неявной

гибкостью, допустимой из-за наличия резервных возможностей: дублирующих технических средств, каналов связи, способов выполнения отдельных функций по сокращенным технологиям, допускающим при достижении цели выполнения ТП некоторое снижение его качества и др.

В процессе отработки фрагментов процесса выполнения ТОУ диспетчер должен учитывать множество разнородных факторов, внешние и внутренние условия протекания ТП, при этом взаимодействуя с другими операторами-специалистами (группами, коллективами, руководителями). Образно выражаясь, он, выполняя операции управления, действует внутри плотных, динамично сменяющихся, а то и пересекающихся, своеобразных информационных «страниц-коконов» (рис.1).

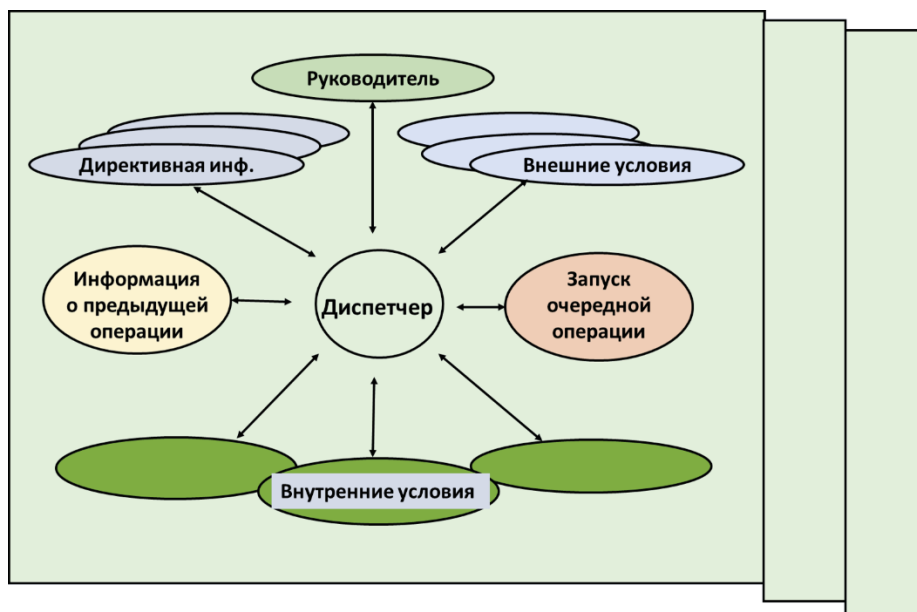


Рис.1. Фрагмент-страница процесса выполнения диспетчером ТОУ

Используя для пояснения рисунка в качестве примера аэродромную тематику, в качестве выполненной операции ТП можно определить успешную рулежку самолета на взлетно-посадочную полосу (ВПП) и доклад экипажа о готовности к взлету, тогда подготавливаемая операция – разгон и взлет. Руководитель – руководитель полетов, взаимодействие при крайней необходимости. Директивная информация – расписание полетов, инструкции, наставления и т. п. Внешние условия – обеспечение свободного воздушного коридора, погодные условия, готовность аэродромов посадки. Внутренние условия – доклады водителя автомобиля сопровождения, других аэродромных служб, визуальный контроль ВПП.

В целях моделирования рассмотренного «постраничного» процесса выполнения ТОУ предлагается использовать сети Петри (СП) – причинно-следственные модели параллельных действий, способные адекватно отразить логико-временные связи между технологическими операциями и динамику их выполнения [2-5]. В модели следует ввести элементы, отражающие ход выполнения управляемого технологического процесса во времени, а также неопределенность проявления негативных факторов природного и техногенного характера, человеческих ошибок, отказов технических (программных) средств, приводящих к сбоям в ходе управления ТП. Интерактивная модель-тренажер должна предоставлять обучаемому оператору информацию о текущей ситуации и возможность самому выполнять управляющие действия. Для преподавателя (инструктора) должны быть предусмотрены возможности по изменению исходных данных, вводу нештатных ситуаций, а также накопления информации о действиях обучаемого для последующего их разбора.

С учетом приведенных требований была сформирована и предлагается сеть Петри с разнородными позициями, в которой переходы и позиции интерпретируются следующим образом. Переходы – это технологические операции, а наличие маркеров в позициях – условия их выполнения (для входных позиций – предусловия, для выходных – постусловия). Она имеет следующий вид:

$$(P, T, F_1, F_2, M, S), \quad (1)$$

Где P – множество позиций, состоящее из трех подмножеств:

P_1 – множество входных логических или стартовых управляющих позиций, наличие маркера в которых говорит о том, что предыдущая операция выполнена (данная позиция одновременно является выходной предыдущего перехода) и разрешена технологически выбранная оператором следующая операция (разрешен запуск соответствующего перехода);

P_2 – множество входных «временных» (директивных) позиций, отсутствие маркеров в которых говорит о невозможности выполнения соответствующих операций из-за ненаступления директивного времени (времени отправления поезда по расписанию, отсутствие взаимной радиовидимости космического аппарата и наземных средств и др.; они задаются директивными расчетными документами), отказа технического средства, ошибки персонала, других воздействий (задается инструктором);

P_3 – множество выходных «контрольных» позиций или позиций отображения, визуализации ситуации, появление маркеров в которых говорит о выполнении очередной выбранной операции, позволяет соответственно сигнализировать об этом оператору на экране монитора, при наличии и необходимости для обучения запускать подготовленные заранее мультимедийные и другие эффекты;

T – множество переходов $t_i, i = 1, \dots, n$, срабатывание каждого из которых интерпретируется как выполнение соответствующей технологической операции управления;

F_1 и F_2 – матрицы входных и выходных инцидентов, задающих связи между входными позициями и переходами, и переходами и выходными позициями соответственно;

$M: P \rightarrow N, N = \{0, 1, 2, \dots\}$ – отображение, задающее маркировку (количество маркеров в позициях).

Правило срабатывания любого перехода t_i состоит в том, что из его входных позиций p_{1i} и p_{2i} должно быть изъято число маркеров, равное кратности дуг (ребер), соединяющих эту позицию с переходом – (2), (3), а в его выходную позицию p_{3i} должно быть помещено, дополнительно к имеющимся, число маркеров, равное кратности дуги, соединяющей переход и данную позицию (4).

$$\hat{m}(p_{1i}) = m(p_{1i}) - f_1(p_{1i}, t_i), \quad (2)$$

$$\hat{m}(p_{2i}) = m(p_{2i}) - f_1(p_{2i}, t_i), \quad (3)$$

$$\hat{m}(p_{3i}) = m(p_{3i}) + f_2(t_i, p_{3i}). \quad (4)$$

В предлагаемой модели матрицы F_1 и F_2 имеют свои особенности, отличающие их от традиционных [4].

Элементы матрицы $f_1(p_{1i}, t_i), i = 1, \dots, n$ определяются, исходя из следующих соображений.

Условие запуска перехода t_i стандартное: число маркеров во входной позиции p_{1i} , как и в позиции p_{2i} , должно быть больше или равно кратности входной дуги (числу x):

$$m(p_{1i}) \geq x. \quad (5)$$

Для моделирования возможных сбоев предлагается вводить неопределенность в правую часть неравенства (5), задавая кратность дуги $f_1(p_{1i}, t_i)$ – число x (число необходимых попыток обучаемого оператора запустить успешное выполнение очередной технологической операции), датчиком случайных натуральных чисел в интервале $[1, m]$.

Такое введение в матрицу входных инцидентов своеобразной «структурной неопределенности» позволяет рассматривать предлагаемую модель как новую модификацию стохастических сетей Петри.

Используемая в модели матрица выходных инцидентов F_2 усиливает структурную неопределенность, связывая переходы только с «висячими», накопительными, контрольными позициями из множества P_3 , предоставляя оператору самому определять следующую за текущей технологическую операцию, допустимую, в первую очередь, с точки зрения разрешенной гибкости структуры комплекса операций управления.

Для задания применительно к каждой завершенной операции перечней, наборов, разрешенных следующих за ней операций в структуру модели СП включена специальная матрица S .

S – матрица разрешений, элементы которой,

$$s(t_i, p_{1j}) = [0,1], \quad i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, n,$$

определяют для операции t_i перечень всех разрешенных к выполнению после нее операций t_j , а также возможности – в случае сбоя ее выполнения – построения обходного пути, байпаса, в структуре ТОУ или повтора операции ($i = j$).

Графическое представление использования СП для моделирования ТОУ приведено на рис. 2.

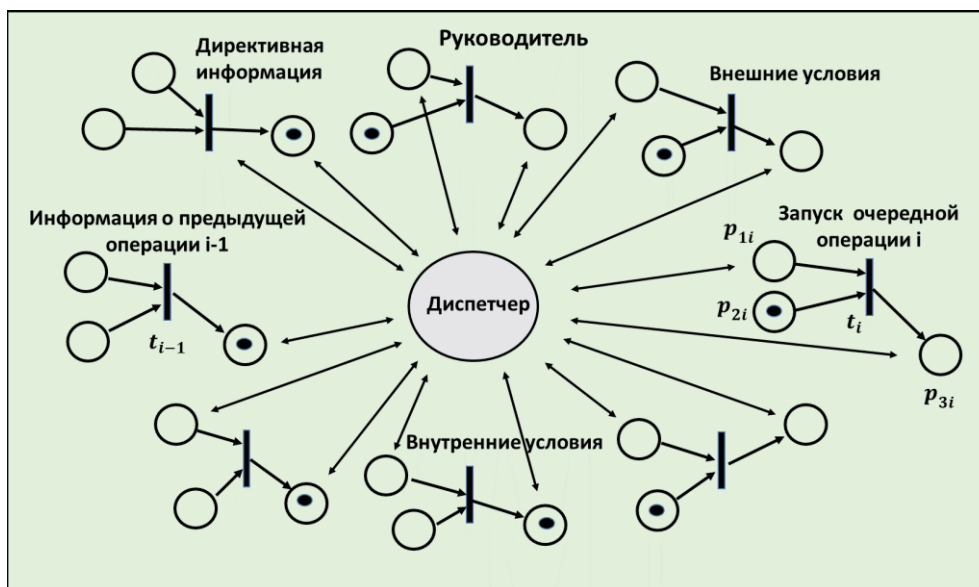


Рис.2. Фрагмент–страница процесса выполнения ТОУ с графическим представлением элементов СП

Действия диспетчера по взаимодействию с другими должностными лицами, соответствующими информационными блоками (выдача запросов – на языке СП помещение маркеров в необходимые управляющие входные позиции и получение информации – анализ контрольных выходных позиций) на рис. 2 обозначены обоюдными стрелками.

Факт выполнения или сбоя в выполнении текущей операции t_i определяется по появлению или отсутствию, соответственно, маркера в контрольной позиции p_{3i} .

с одновременным пропаданием или остающимся в наличии маркера в позиции p_{1i} . Таким образом, вектор текущей контрольной подмаркировки, часть вектора маркировки μ , задающая количество маркеров в позициях подмножества P_3 , наряду с матрицей S определяют состав предоставляемой оператору информации о состоянии ТП, ее визуализацию (текстовые, графические, аудиосообщения, мультимедийные эффекты и т. п.). Кроме того, накапливающиеся в контрольных позициях маркеры несут информацию о действиях обучаемого (выборе, повторе, пропуске технологических операций), которая может быть использована для последующего разбора занятия.

Заключение

Модель предоставляет оператору (обучаемому или исследователю) в случае сбоя выполнения текущей технологической операции управления набор разрешенных действий в широком диапазоне: от очевидных до гипотетически возможных. Это поможет найти решения, «немыслимые» с точки зрения сложившейся практики, закрепленной в инструкциях, но неявно ощущаемые опытными специалистами, занимающимися управлением соответствующими ТП. Следовательно, разработанная модель может использоваться не только для обучения, но и для исследований, направленных на поиск нестандартных решений по выходу из нештатных ситуаций и в целом на совершенствование рассматриваемой технологии управления.

Литература

1. Управление космическими аппаратами и средствами наземного комплекса. / Ю.С. Мануйлов, И.И. Делий и др. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2010. 609 с.
2. **Кудряшов А.Н.** Анализ целевых возможностей наземного комплекса управления космическими аппаратами на основе сетей Петри и экспертного оценивания // Интеллектуальные технологии на транспорте. Электронный журнал. – СПб.: ПГУПС, 2020. №2. С.71-76.
3. **Решмин Б.И.** Имитационное моделирование и системы управления. Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. 74 с
4. **Резников Б.А.** Системный анализ и методы системотехники. Моделирование сложных систем. – Л.: МО СССР, 1990. 522 с.
5. Обоснование состава инструментария разработки программных средств моделирования космических систем / А.В. Колесник, М.Ю. Ортиков, А.В. Чарушников // Труды ВКА имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2020. Вып. 675. С.53-61.