



2. Надежкин, В. А. К вопросу использования возможностей системы АПК-ДК при проведении технического обслуживания устройств ЖАТ / В. А. Надежкин, К. А. Грядкина, С. Н. Походай // Образование - Наука - Производство : Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, Чита, 24 декабря 2020 года. – Чита: Забайкальский институт железнодорожного транспорта - филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Иркутский университет путей сообщения", 2020. – С. 165-169.

3. Хохрин, А. С. Анализ способов организации управления движением при СИРДП-е / А. С. Хохрин, Н. Д. Ежов, А. С. Сахипкиреева // Образование - Наука - Производство : Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, Чита, 24 декабря 2020 года. – Чита: Забайкальский институт железнодорожного транспорта - филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Иркутский университет путей сообщения", 2020. – С. 281-285.

4. Надежкин, В. А. Анализ новых систем интервального регулирования движения поездов / В. А. Надежкин, А. С. Хохрин, В. Б. Тепляков // Образование - Наука - Производство : Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, Чита, 24 декабря 2020 года. – Чита: Забайкальский институт железнодорожного транспорта - филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Иркутский университет путей сообщения", 2020. – С. 169-173.

5. Розенберг, Е.Н. О переходе к предиктивному управлению транспортными системами с использованием Big Data / Е.Н. Розенберг, М.Г. Лысыков, А.В. Озеров, А.М. Ольшанский // Техника железных дорог. – 2018. – № 1 (41). – С.32-33.

С.А. Никищенков

## ДИАГНОСТИКА МНОГООПЕРАЦИОННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРИГГЕРНО-ВРЕМЕННЫХ ФУНКЦИЙ

(Самарский государственный университет путей сообщения)

Развитие методов и средств диагностики транспортных процессов (ТП) обусловлено многообразием причин и интенсивностью дефектов, возможными существенными убытками и потерями времени, а также развитием процессного подхода в ОАО «РЖД» [1-3].

На рис. 1а представлена ресурсно-логическая схема фрагмента ТП, где штриховые линии показывают передачу ресурсов  $k, l, \dots, z$ ;  $O_2$  - операция проверки логического условия.

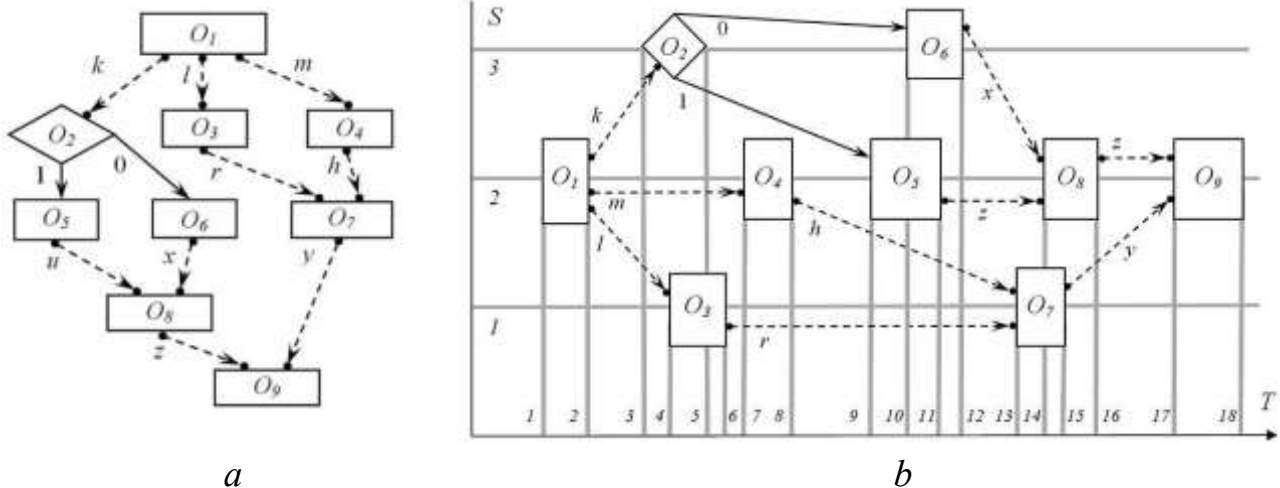


Рис. 1. Модели ТП: *a* - ресурсно-логическая схема, *b* - координатная схема

Варианты последовательных и параллельных конфигураций ТП, отличающиеся перестановкой операций и одновременным (параллельным) их выполнением (показано в скобках) при сохранении требования правильной реализации заданной технологии, включают в себя: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9; 1, 4, 3, 2, 6, 8, 7, 9; ...; 1, (2,3), 4, 5, (7,8), 9; 1, (3,4), 2, (6,7), 8, 9; ...; 1, (2,3,4), (5,7), 8, 9.

В более широком понимании конфигурацией ТП называется распределение операций в пространстве и времени, а реконфигурацией - переход от одной конфигурации процесса к другой при выполнении одной и той же транспортной технологии. Формальное определение конфигурации и реконфигурации многооперационного процесса на основе операционно-событийной модели приведено в [3], при этом теоретически возможность реконфигурации связана с внутренним параллелизмом технологии, асинхронностью выполнения операций и конвейеризацией процесса. Представленные конфигурации правильных ТП соответствуют пространству реальных реконфигураций, число которых даже для небольшого примера достаточно велико.

Проведенные исследования позволяют сделать ряд утверждений: 1) большинство ТП имеют внутренний параллелизм и для них существует множество эквивалентных (по результату) потоков операций, различающихся структурно-временным распределением операций (конфигурацией), согласно применяемому методу управления (расписание, диспетчеризация, инструкция, алгоритм, последовательный, параллельный, синхронный, асинхронный, конвейерный) и состоянию производственной транспортной системы; 2) в потоке операций правильного ТП каждая из них принадлежит множеству готовых (обеспеченных входными ресурсами); 3) общими требованиями правильного выполнения ТП являются отсутствие дефектов (несоответствий технологии), в том числе таких существенных, как «запуск операции при неготовности ее входных ресурсов» и «отсутствие или длительная задержка запуска при готовности входных ресурсов».

Триггерные (спусковые) функции представляют собой предикат над множеством операторов и логических условий в операторной схеме (включая в



общем случае дополнительные, учитывающие цикличность, конвейерность и историю процесса) и задают максимально параллельный асинхронный процесс [4]. На модельном уровне триггерная функция (согласно определению асинхронных схем) представляется как  $TF_i: E_i \rightarrow a_i^s$ , где  $E_i$  - совокупность событий, характеризующих готовность входных аргументов для  $i$ -го оператора,  $a_i^s$  - событие запуска оператора. В качестве таких событий могут использоваться признаки готовности выходных ресурсов предшествующих операторов, активизация ресурсных связей, значения влияющих на ТП логических условий.

Для схемы на рис. 1а система триггерных функций включает:  $TF_1 = e_0$ ;  $TF_2 = e_1$ ;  $TF_3 = e_1$ ;  $TF_4 = e_1$ ;  $TF_5 = e_2 \wedge o_2^1$ ;  $TF_6 = e_2 \wedge o_2^0$ ;  $TF_7 = (e_3 \wedge e_4)$ ;  $TF_8 = (e_5 \wedge o_2^1) \oplus (e_6 \wedge o_2^0)$ ;  $TF_9 = (e_7 \wedge e_8)$ , где  $e_i$  - признак окончания  $i$ -го оператора;  $o_2^1$  и  $o_2^0$  - значения 1 и 0 логического условия, проверяемого операцией  $O_2$ ;  $\oplus$  - исключающее ИЛИ.

Метод диагностики на основе триггерных функций операций является диагностической интерпретацией асинхронного подхода к управлению ТП [5,6]. По значению  $TF_i$  проверяется правильность или дефект запуска операции, для чего вычисляется значение диагностической функции  $DF_i^s(TF_i, a_i)$ :  $(a_i^s = 1) \wedge (TF_i = 1) \rightarrow d_i^s = 0$ ,  $(a_i^s = 1) \wedge (TF_i = 0) \rightarrow d_i^s = 1$ , где индекс  $s$  означает *start*. При его применении оперативно обрабатывается диагностическая информация о ТП: «какие операции запускаются и выполняются в текущий момент времени?», «нет ли останова процесса (выполняется ли хотя бы одна операция)?», «есть ли ложный запуск операций и каких?», «какие операции готовы для выполнения по совокупности всех ресурсов и условий?», с возможным дальнейшим анализом результатов («почему при готовых ресурсах операция не запускается?», «какие ресурсы для данной операции не обеспечены?», «почему готовая операция не выполнялась?»).

Развитие метода диагностики ТП по триггерным функциям операций заключается в расширении перечня обнаруживаемых дефектов за счет тайминга событий запуска и окончания операций.

Триггерно-временная функция операции представляется как  $TTF_i = (TF_i, T_i)$ , где  $T_i$  - фактический период времени с момента принятия единичного значения триггерной функции операции (т.е. ее готовности к запуску) по момент ее запуска.

На рис. 1б представлен вариант координатной схемы ТП, соответствующий схеме на рис. 1а, с заданными длительностями операций и периодов задержки их запуска от момента готовности выходных ресурсов предшествующих операций. Например, для  $O_7$  длительность периода готовности  $T_7 = (t_{13} - t_8)$ , где индекс при  $t$  показывает номер события на оси времени. В общем случае величина  $T_i$  отсчитывается от времени завершения той операции из предшествующих  $i$ -ой, которая завершается последней, т.е.  $T_i = \min(t_k, t_i)$ .

Дефект отсутствия запуска операции в течение нормируемого времени с момента готовности входных ресурсов определяется как  $DF_i^{ns}(TF_i, T_i, T_i^n)$ :  $(T_i < T_i^n) \rightarrow d_i^{ns} = 0$ ,  $(T_i > T_i^n) \rightarrow d_i^{ns} = 1$ , где индекс  $ns$  означает «no start»,  $T_i^n$  - нормируемый период времени с момента принятия единичного значения триг-



герной функции.

Дефект задержки запуска операции имеет вид:  $DF_i^{sd}(TF_i, T_i, T_i^n, k^n) : (T_i < k^n T_i^n) \rightarrow d_i^{sd} = 0, (T_i > k^n T_i^n) \rightarrow d_i^{sd} = 1$ , где индекс  $^{sd}$  означает start delay,  $k^n > 1$  - коэффициент, учитывающий допустимость увеличения нормативного времени  $T_i^n$  для заданной технологии (т.е. при снижении требований контроля).

В рамках триггерно-временной диагностики перспективным представляется анализ ТП на основе сопоставления фактического и требуемого (нормативного) времени задержки запуска операции относительно времени принятия триггерной функции значения 1, т.е. значения коэффициента оперативности  $k_i^o = T_i / T_i^n$ .

При  $k_i^o = 0$  триггер срабатывает одновременно с готовностью всех выходных ресурсов предшествующих операций (максимальная оперативность); при  $k_i^o < 1$  запуск операции происходит в пределах нормы времени; при  $k_i^o = 1$  запуск операции находится на пределе нормы; при  $k_i^o > 1$  имеется задержка запуска.

В такой постановке возможно формулирование совокупного показателя асинхронности (быстродействия, интенсивности) процесса как функции от значений коэффициента оперативности всех его операций  $K^{as} = f(k_1^o, k_2^o, \dots, k_m^o)$ . Очевидно, что при  $K^{as} = 0$  (у всех операций нет задержек запуска) имеет место полностью асинхронный, максимально параллельный ТП [5], что соответствует стратегии обеспечения максимальной производительности транспортной системы.

При осуществлении контроля длительностей выполнения операций, традиционного для железнодорожных ТП, данные дефекты могут быть дополнены и модифицированы путем учета событий окончания операции. Подход обладает универсальностью и результативностью, поскольку любой ТП может быть представлен ресурсной схемой; для каждой операции может быть задана триггерно-временная функция; реконфигурации ТП (перестановка в пространстве и времени операций, независимых по входным и выходным ресурсам, переход от одной степени их распараллеливания к другой, плановое или ситуационное перераспределение по координатам) не изменяют его систему триггерно-временных функций. Диагностическая модель на основе ресурсной схемы и триггерно-временных функций неизменна для любой конфигурации ТП (является диагностическим инвариантом) и эффективна для применения при его реконфигурациях. Применение триггерно-временной диагностики ТП позволяет не только подтверждать правильность его реконфигураций и обнаруживать соответствующие дефекты, но и создает основу для обеспечения высокой (в идеале - максимальной) производительности за счет асинхронных параллельных методов управления операциями. Подход обладает возможностью дальнейшего развития для задач предиктивной диагностики, поскольку операторные схемы представляют процесс видимым в перспективе, а формирование триггерных функций операций упреждает их запуск. Применение схем ТП и триггерно-временных функций дает эффект не только при мониторинге и диагностике, но и при решении таких важных задач, как анализ, верификация и реинжиниринг



технологий, имитационное моделирование, разработка стандартных электронных паспортов процессов, обеспечение функциональной безопасности систем.

Пример практической реализации средств диагностики ТП представлен в [7].

#### Литература

1. О программе мероприятий по расширению применения процессного подхода в управлении холдингом «Российские железные дороги». № 1712р от 23.08.2017 г. М.: ОАО «РЖД», 2017. 4 с.
2. Основы технической диагностики: модели объектов, методы и алгоритмы диагноза / В.В. Карибский, П.П. Пархоменко, Е.С. Согомоян, В.Ф. Халчев. М.: Энергия, 1976. 464 с.
3. Никищенков С.А. Автоматизированное технологическое диагностирование железнодорожных систем с использованием операторных схем процессов. Самара: СНЦ РАН, 2007. 179 с.
4. Нариньяни А.С. Теория параллельного программирования: формальные модели // Кибернетика, 1974. №3; №4.
5. Никищенков С.А. Спусковые функции и контроль процессов // Обозрение прикладной и промышленной математики, 2004. Т.11, вып.2. С.380.
6. Nikishchenkov S.A. Methods for monitoring of reconfigurable transport systems based on trigger functions. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, 194. doi:10.1088/1755-1315/194/6/062025.
7. Nikishchenkov S.A., Asabin V.V., Tretyakov G.M., Moskvichev O.V., Romanova P.B. Diagnostics of multioperation processes using basic cells of digital homogeneous structures. Russian Electrical Engineering, 2020, 91. doi:10.3103/S106837122003013X.

С.А. Сарычева

### ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА НА ПОЛИГОНЕ МОСКОВСКОГО ЦЕНТРАЛЬНОГО КОЛЬЦА

(Самарский государственный университет путей сообщения)

#### Введение

Железнодорожный комплекс является связующим звеном единой экономической базы, обеспечивающей стабильную деятельность транспортных перевозок, эффективность работы движения поездов. Существующие системы управления железнодорожного транспорта требуют новых подходов к функционированию.

Именно поэтому целью данной работы является обоснование применения интеллектуальной системы управления железнодорожного транспорта на полигоне МКЦ.