

СУДОСТРОЕНИЕ, СУДОРЕМОНТ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ФЛОТА

УДК 656.60.009.02

Ю. Ю. Рудницкая

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕСКРИПТИВНОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ СУДНА НА НЕФТЯНОМ ТЕРМИНАЛЕ НА ОСНОВЕ ЗАПИСЕЙ ИЗ ТАЙМШИТОВ¹

Современные информационные системы и технологии позволяют хранить большое количество данных о транспортно-логистических процессах. Используя различные математические алгоритмы и методы интеллектуального анализа данных и машинного обучения, можно получить знания и выразить их в качестве поведенческой модели системы. Одним из относительно новых и уже широко используемых в различных сферах методов является метод анализа процессов (Process Mining). С его помощью можно смоделировать процесс как есть и в дальнейшем уже работать с действительным отражением реальных операций. В теории транспортно-логистические процессы представляют собой пример упорядоченных структурированных процессов. Однако практика показывает, что нормативная и дескриптивная модели часто имеют много отличий, а подобные отклонения образуют слабые места в потоке работ и, соответственно, приводят к временным и финансовым потерям. С помощью алгоритмов Process Mining реальный процесс обработки судозахода на нефтяном терминале представлен в виде неориентированного графа. Обозначены существующие проблемы портовых систем, а также необходимость работы с реальными моделями процессов. Рассмотрены возможные варианты оптимизации процессов и, следовательно, повышения конкурентоспособности порта. Представлены схемы транспортных процессов, в которых участвует порт. Определено место анализируемого процесса в общей схеме. Указаны методы и документы, участвующие в процессе создания модели. Отражены две полученные модели обработки судна и описаны основные результаты анализа, перечислены проблемы и возможные варианты их решения.

Ключевые слова: анализ процессов, поток работ, процессные модели, транспортно-логистические процессы, нефтяные терминалы.

Введение

Важнейшими задачами любого порта являются предоставление качественных услуг и сокращение временных затрат на обработку судна. В настоящее время 40 % морских нефтяных перевозок Россия вынуждена осуществлять через иностранные порты, при этом теряя на транзите огромные средства. Кроме того, многие порты используют только 50–60 % своего потенциала, и добиться увеличения грузоперевозок можно путем улучшения как качественных, так и количественных показателей предоставляемых услуг. Такие показатели, как сокращение стояночного времени и пробок, упрощение документооборота, снижение добавочной стоимости на продукт повышают конкурентоспособность порта и позволяют максимально задействовать его производственные мощности.

Оптимизацию режима работы порта можно рассматривать с двух точек зрения: существующих на данный момент производственных ресурсов либо строительства новых и развития действующих портов. В первом случае оптимальность достигается за счет комплекса организационно-технических мероприятий и небольших капиталовложений, позволяющих в крат-

¹ Статья написана при поддержке Министерства образования, молодежи и спорта Чешской Республики, Национальной программы NPU II; проект передовых технологий в области науки IT4Innovations - LQ1602.

чайшие сроки ускорить обработку судов, во втором – за счет больших капиталовложений, продолжительных сроков строительства и ввода в эксплуатацию новых объектов. По ряду причин (в том числе экономических) первый путь оптимизации наиболее приемлем [1]. Кроме того, доля транспортной составляющей достигает в товаре 30 % и более, вследствие чего государство заинтересовано в развитии портов и ускорении обработки флота с целью повышения конкурентоспособности на мировом рынке [2]. Сокращение стояночного времени судов под обработкой даже при дополнительных расходах может привести к значительной экономии по флоту.

Таким образом, поиски новых методов анализа и оптимизации актуальны в рамках существующих проблем. Использование систематического подхода может привести к значительному улучшению качества услуг (в том числе прогнозированию затрачиваемого времени, прозрачности потока работ, высокой скорости обработки и эффективному использованию транспорта).

Схема транспортно-логистических процессов

Для понимания места порта в цепи поставок груза рассмотрим транспортную схему движения груза (рис. 1) и ее основных участников [3, 4]:

- морской агент;
- экспедитор;
- грузоотправитель;
- грузополучатель;
- таможенный представитель (брокер).

Логично предположить, что в процессе грузовых операций необходимо придерживаться принципа минимального маршрута для всех видов транспорта.

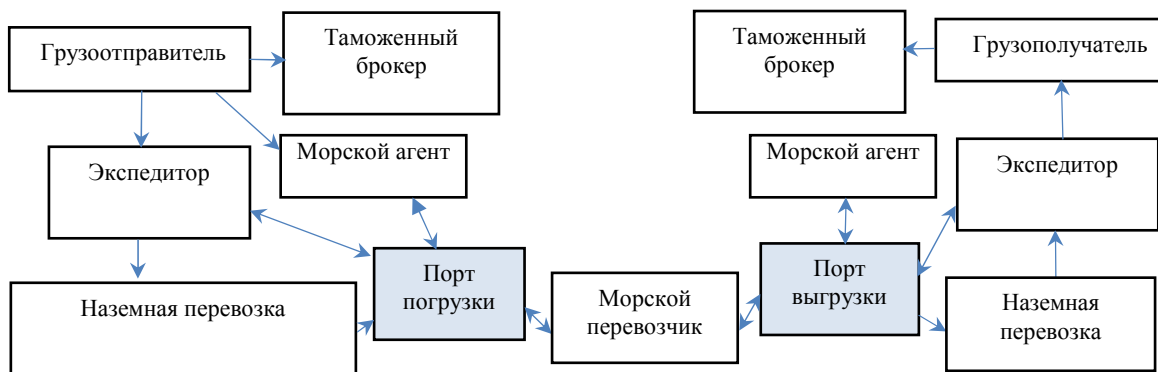


Рис. 1. Схема организации перегрузки импортного груза через морской порт

Несмотря на различия в организации, основной задачей любого порта остаются погрузо-разгрузочные работы с/на различные транспортные средства – судна, грузовые машины, железнодорожные вагоны и т. д. Современные зарубежные порты (Роттердама (терминал Maasvlakte), Сингапура) строят полностью автоматизированные терминалы, где ведется точный учет всех данных, сенсорное отслеживание движения груза [5], а обрабатывающее оборудование двигается по запрограммированным маршрутам без участия людей. В настоящее время российские порты не обладают автоматизированными терминалами и учет информации ведется на уровне документации. Ручная обработка не подразумевает высокого качества данных, что приводит к сокращению числа методов интеллектуального анализа для получения знаний. Однако современные методы анализа процессов помогают организовать мониторинг потоков работ и их последующий анализ, основываясь на небольшом количестве данных.

На рис. 2 изображены внутренние операции в порту, которые будут проанализированы в дальнейшем. В большинстве случаев владелец судна, заходящего в порт, заинтересован в ускоренном выполнении погрузочных процессов.

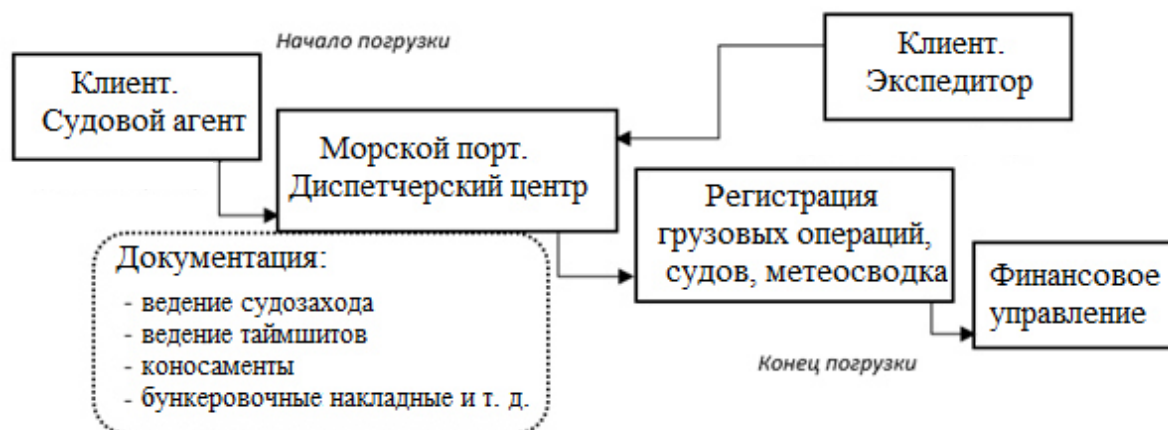


Рис. 2. Поток работ внутри порта (обобщенная схема) [5]

Ускорение процесса обработки судов и сокращение стояночного времени увеличивает конкурентоспособность порта. Для учета стояночного времени, фактически затраченного в порту, судно и порт ведут акт учета стояночного времени (таймшит) по установленной форме. На основе этого документа и метода Process Mining далее будет построена модель процессов обработки судозаходов на нефтяном терминале.

Использование метода Process Mining в порту

Метод – Process Mining. Для начала введем основные понятия Process Mining и определим необходимые элементы для использования этого метода.

Process Mining (PM) – это набор алгоритмов, методов и техник для создания, следования и улучшения реальной модели процессов путем извлечения знаний из Журнала событий (*Event Log (EL)*), широко доступного в современных информационных системах [6, 7].

В отличие от большинства средств, таких как Business Intelligence, Business Process Management и Data Mining, PM является процесс-ориентированным подходом и позволяет без априорных знаний создать модель процессов от начала до конца. Для представления процессной модели метод использует различные нотации (BPMN, Workflow, Сети Петри, Transitional system).

Использовать этот метод можно:

- для построения дескриптивной модели;
- поиска отклонений и слабых мест процесса;
- определения перегруженных ресурсов (работники, оборудование, склады) и перераспределения нагрузки;
- создания прогнозов и рекомендаций на основе модели процессов.

Основой для использования PM служит *EL*, который состоит из следующих частей:

$$EL = \langle C, A, T_s, T_e, \dots \rangle,$$

где *C* – идентификатор случая, для которого выстраивается процесс; *A* – операции/задачи/действия, выполняемые в рамках *EL*; *T_s*, *T_e* – время начала и конца операции. Также *EL* может содержать дополнительную информацию о цене, рисках, ресурсах, объемах груза и т. д. Все зависит от того, какой объект анализируется и какие показатели эффективности необходимо улучшить в первую очередь. Зачастую на качество портовых операций влияют динамические факторы (количество судозаходов, метеорологические условия, перебои в работе техники), которые тоже могут быть учтены при анализе. Более того, с помощью средств анализа данных можно получить новые параметры и атрибуты и использовать их для построения модели процессов. К примеру, на основе имеющихся данных могут быть введены бинарные признаки (готовность судна под погрузку) или категориальные (количество груза, метеоусловия). В случае определения важности признаков можно провести дискретизацию, что также может использоваться в качестве входного параметра для PM. На примере порта

идентификатором случая может быть какой-либо документ (документооборот зачастую организован лучше, чем погрузочные операции, поэтому рассматриваться не будет), судно (анализ представлен далее), складское помещение, контейнер, грузоотправитель/грузополучатель, груз и пр.

Создать *EL* можно, используя информацию из различных источников (ERP системы, базы данных, социальные сети, e-mails, intranet). В нашем случае основой для *EL* будут записи из таймшитов, также можно использовать другую портовую документацию.

Средство – Timesheet. Таймшит – документ, содержащий записи обо всех операциях с судном с момента его прибытия в порт и до лоцманской проводки, он применяется с целью учета стояночного времени. Для анализа процесса мы можем использовать следующие параметры: название судна, порт назначения, номер причала, наименование груза по укрупненной номенклатуре и его количество, дата, часы и минуты прихода судна в порт, время готовности судна к обработке по нотису, время окончания обработки и обслуживания судна и отхода его в рейс. Набор этой информации варьируется в зависимости от желаемого результата.

Для использования РМ и построения основной модели нам понадобится следующая информация: *C* – номер судозахода; *A* – названия операций; *T_s*, *T_e* – время начала и конца операции (учитывается до секунд). Кроме того, может быть использована информация о причалах, операторах, виде груза и его количестве, но это выходит за рамки данной статьи.

Анализ процесса обработки судна

Перед анализом *EL* был обработан для сокращения шума, т. е. были отфильтрованы различные отклонения в данных, такие как временные экстремумы, пустые значения, судозаходы с нулевым значением стальной времени и т. д. Также был определен период времени для анализа современного процесса обработки судозахода. Все эти меры необходимо проводить до начала анализа, поскольку в дальнейшем шум, неполнота и неактуальность данных могут значительно повлиять на результаты и привести к ошибочным выводам.

Определение временного отрезка. В соответствии с определением минимального отрезка из [8], необходимо воспользоваться формулой:

$$[\text{Ожидаемый период времени обработки судна}] \cdot 4 \cdot 5 \approx 8 \text{ (дней)} \cdot 4 \cdot 5 \approx 160 \text{ (дней)}.$$

Этого периода будет достаточно для составления актуальной модели процессов.

Для отражения более полного процесса был определен период с 2012 по 2015 г. Таким образом, были включены случаи, у которых начальная и конечная временная точка принадлежит указанному отрезку времени.

Временная продолжительность каждой операции рассчитывалась с учетом записей о валовом времени (дата начала операции + валовое время).

Сокращение шума. Все случаи были отфильтрованы по времени длительности обработки: 92 % всех случаев обрабатывается от 19 часов (к примеру, налив мазута) до 9 дней. Остальные 8 % требуют дополнительного анализа и мнения экспертов для выявления причин длительной обработки (метеоусловия, специфика груза или обработки и пр.).

Общий процесс

Всего в ходе исследования было определено 135 различных операций, в том числе оформление документации. На каждый судозаход в среднем приходится 23 операции (с повторениями). Среднее время полной обработки одного судна составляет в 4,5 дня. Графическое распределение работ (рис. 3) позволяет отследить максимумы и минимумы обрабатываемых операций (под *событиями* подразумевается количество операций, выполненных для разных судозаходов). Например, вторая половина декабря – начало января указывает на простои в работах. Это может быть вызвано праздничным периодом или метеоусловиями, но требуется дополнительное экспертное мнение. Большинство простоев в работах проявляется в выходные дни. Какие-либо сезонные или связанные с праздниками закономерности не выявлены.

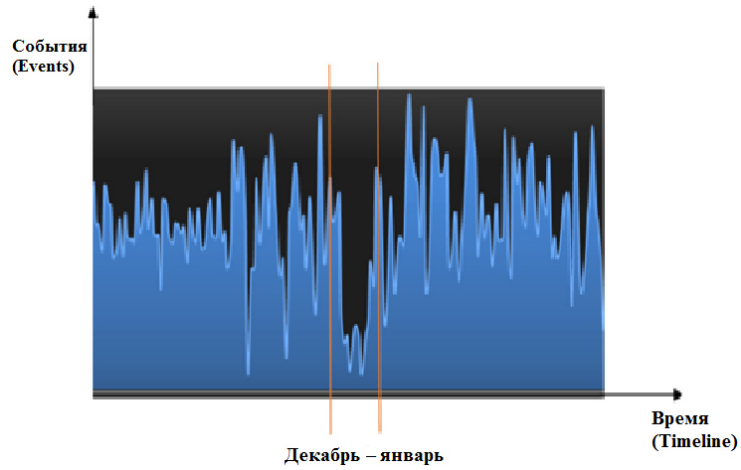


Рис. 3. Распределение операций на временном отрезке

На рис. 4 представлен общий процесс обработки судна на нефтяном терминале.

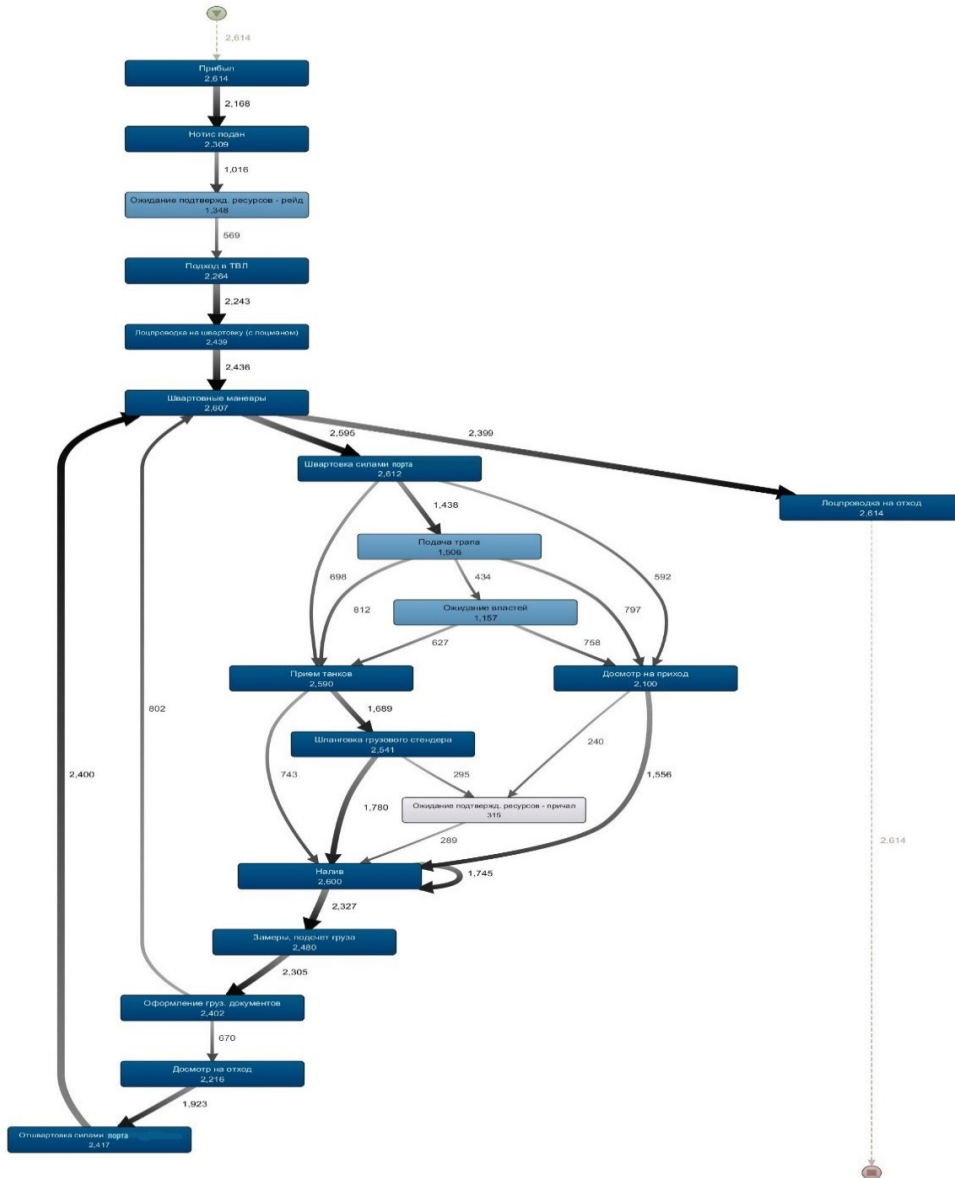


Рис. 4. Общая модель обработки судов на нефтяном терминале

Процесс начинается с операции «Прибыль» и заканчивается операцией «Лоцпроводка на отход». При масштабировании и детализации процесса по грузовым операциям (на основе стальнойного времени) мы получим процесс грузовой обработки судна (рис. 5).

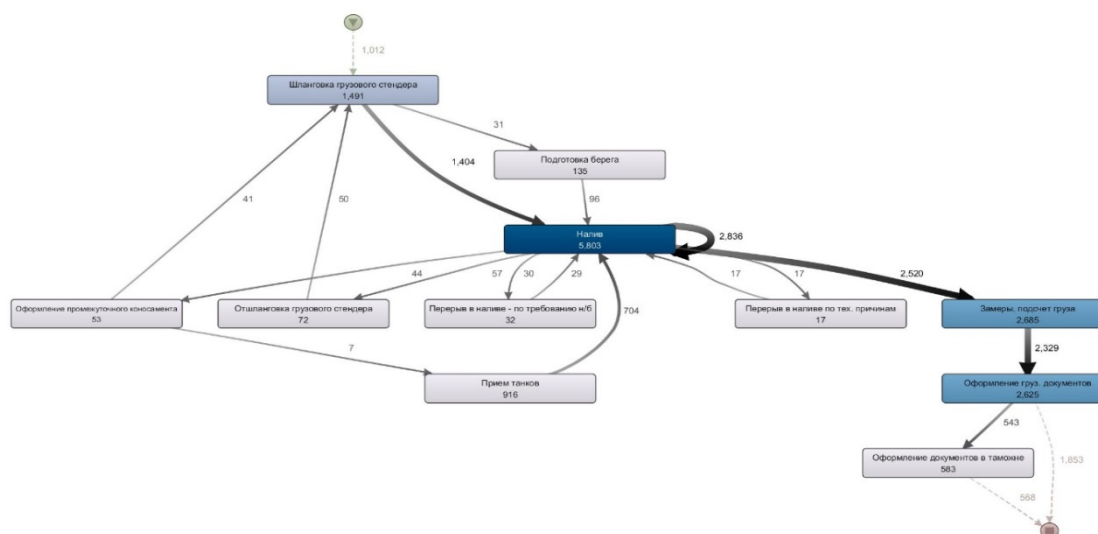


Рис. 5. Процесс грузовой обработки судна

Процесс на основе стальнойного времени

Несмотря на то, что процесс по большей части должен быть структурированным, на практике он получился довольно масштабным и мало организованным. На рис. 5 изображена часть модели процессов обработки на основе стальнойного времени (грузовые работы, вспомогательные операции, комплексное обслуживание). Модель представлена в виде графа, где каждый узел указывает на определенную операцию, а дуга — на передачу работ от одной операции к другой. Модель построена на основе алгоритма Fuzzy Miner [9] программного обеспечения Disco [10]. Этот алгоритм предназначен для малоструктурированных процессов, которые содержат различные варианты поведения. Цифры указывают на количество судозаходов, которые прошли через указанные операции. Всего грузовых операций 35, они составляют 22 % от общего количества всех операций обработки судна. Более насыщенный цвет обозначает наиболее частые операции, которые встречаются в процессе обработки большого количества судозаходов. Например, «Налив» и «Оформление грузовых документов» встречаются в каждом случае, а «Перешланговка» или «Перепуск груза» встречаются очень редко и в общей модели не представлены. Увеличив масштаб и, соответственно, детализацию модели, мы можем изобразить все операции и взаимосвязь между ними. На основе параметра частоты использования дуги также происходит фильтрация наиболее частых маршрутов/взаимосвязей. Среднее время проведения грузовых работ равняется 27 часам. Из них операция «Налив» составляет в среднем 8,5 часов (41 % нефть, 24 % мазут и дизтопливо, 1,6 % судовое топливо).

Проблемы, выявленные в процессе анализа

Большое количество вариантов обработки процесса (определенная последовательность операций) наблюдается для нефтяного терминала. Почти каждый случай является уникальным, хотя в теории они должны быть более упорядоченными. Некоторые важные операции, такие как «Нотис подан», зачастую пропущены, даже если перед этим указана операция «Ожидание подачи нотиса». Причиной может являться как человеческий фактор, так и отклонение от порядка оформления документов.

Операция «Ожидание ресурсов» является наиболее часто встречающейся после «Налив» и «Швартовные маневры» и составляет в среднем 13 % от общего времени обработки судна. Встречаются случаи, когда из 22 дней обработки операция «Ожидание ресурсов» занимает 20. Это ведет к сбою планирования и появлению операции «Ожидание причала». Такое состояние может быть вызвано несогласованностью транспортных средств. В таблице указаны операции

простоев и их влияние на общий процесс, а также процент судозаходов, содержащих данные операции. При оценке судозаходов, в которых не встречается операция «Ожидание подтверждения ресурсов», среднее время обработки судов увеличивается на 30 %.

Основные причины простоев при обработке судна

Операция	Количество судозаходов, %	Средняя продолжительность, ч	Максимальная продолжительность, ч
Ожидание подтверждения ресурсов (рейд)	52	14	$21 \cdot 24 = 504$
Ожидание властей	44	1	11
Ожидание причала	24,6	9,6	$3 \cdot 24 = 72$
Ожидание подтверждения ресурсов (причал)	12	1	6

Преимущества процессной модели

Процессная модель указывает на возможные варианты оптимизации процессов и их параметров. Например, в нашем случае сокращение вариантов обработки судна может привести к улучшению планирования работ. Кроме того, детальный анализ возникновения причин простоев позволяет сократить стояночное время и улучшить общие показатели процесса.

Процессная модель дает возможность детально рассмотреть отдельно взятые случаи с длительным периодом обработки и выяснить, что вызвало такую задержку и от каких параметров это зависело (количество груза, метеоусловия, ожидание груза, ожидание поручений и пр.).

Сопоставление и сравнение реального дескриптивного процесса, полученного при помощи метода Process Mining, с нормативным сметно-суточным планом для выявления отклонений и внесения изменений в последующие планирования предоставляет возможность оперативно определить проблемы при изменении потока работ и адекватно отреагировать во избежание больших временных и финансовых потерь.

Применение процессной модели помогает проведению аудирования с меньшей затратой трудовых и финансовых ресурсов.

Использование дескриптивной модели для создания мультиагентной системы с возможностью анализа поведения и предсказания ключевых показателей эффективности процесса позволяет построить часть сетцентрической морской транспортной системы, где судозаход может являться объектом и в режиме онлайн для него автоматически будет определяться время обработки, стоимость и другие показатели эффективности, в зависимости от других влияющих факторов.

Немаловажным фактом является то, что процессная модель, полученная при анализе, может стать ступенью к переходу на другой уровень развития портовой системы, а именно – к созданию процессной карты наподобие существующих дорожных карт (с возможностью масштабирования, определения трафика, прогнозирования и рекомендациями в точках принятия решений) [11].

Создание общего информационного пространства, где участники могут представлять необходимую информацию, позволяет улучшить согласованность работы транспорта и, следовательно, сократить время ожидания. Интеграция участников транспортного процесса возможна при условии создания информационного ресурса, который не предназначен для хранения или коллекционирования информации и должен обещать 100 %-ю сохранность данных. Главные его задачи – объединять информацию от разных источников (в том числе внешних: метеосводки, дорожные пробки, аварии), предоставлять ее участникам транспортного процесса (которым заранее определяются границы доступа), оперативно прогнозировать время и быстро реагировать на изменение ситуации и плана [12]. Это может значительно облегчить работу агентам, экспедиторам, стивидорам и другим участникам транспортного процесса.

Заключение

Моделирование процессов необходимо в целях отображения всего процесса (от начала до конца) с различными уровнями детализации и возможностью обогащения модели необходимыми данными в дальнейшем. В настоящее время существует множество различных методов для интеллектуального анализа процесса. Process Mining отличается от других тем, что дает возможность, основываясь на данных из документации, ERP систем, intranet и пр., получить модель, отвечающую действительности. В современном мире наличие большого количества дан-

ных позволяет нам не только делать расчеты или анализировать статистику, но и создавать поведенческие модели процессов, необходимые при переходе на так называемый Интернет вещей (Internet of Things), где каждому объекту будет соответствовать модуль в сети, который на основе заданных правил сможет принимать решения. Изображение процесса в качестве «дорожной карты» в режиме онлайн с возможностью масштабирования, определения пробок (узких мест) и рекомендаций оптимальных путей может значительно улучшить как качественные, так и количественные показатели процесса. Процесс-ориентированный подход помогает пользователям увидеть картину в целом и понять влияние их части работы на общие показатели, что повысит эффективность морского порта в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Основы* транспорта. Организация обработки судов. URL: <http://www.transportbasis.ru>.
2. *Степанов А. Л.* Порт в транспортной логистике. СПб.: Изд-во «Лион», 2008. 228 с.
3. *Лимонов Э. Л.* Внешнеторговые операции морского транспорта и мультимодальные перевозки. СПб.: Изд-во «Модуль», 2016. 592 с.
4. *Сханова С. Э., Попова О. В., Горев А. Э.* Транспортно-экспедиционное обслуживание. М.: «Академия», 2005. 432 с.
5. *TNO* Time for innovation. Tank terminal of the future: big brother is watching (09.09.2016). URL: <https://time.tno.nl/en/articles/tank-terminal-of-the-future-big-brother-is-watching/>.
6. *Aalst W.* Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes. Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2011. 352 p.
7. *Massive* Open Online Course: Process Mining: Data science in Action. URL: <https://www.coursera.org/learn/process-mining?>
8. *Rozinat A.* Disco User's Guide. URL: <https://fluxicon.com/disco/files/Disco-User-Guide.pdf>.
9. *Официальный* веб-сайт Process Mining. Описание работы алгоритма Fuzzy Miner. URL: <https://www.processmining.org/online/fuzzyminer>.
10. *Официальный* сайт программного обеспечения Disco. URL: <https://www.fluxicon.com>.
11. *Проект* Smart Port. URL: <https://www.smart-port.nl>.
12. *TNO* Time for innovation. No more traffic jams at the seaport (07.09.2016). URL: <https://time.tno.nl/en/articles/no-more-traffic-jams-at-the-port/>.

Статья поступила в редакцию 07.12.2016

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Рудницкая Юлия Юрьевна – Чешская Республика, 60190, Брно; Технический университет г. Брно; аспирант кафедры информационных систем; irudnick-aia@fit.vutbr.cz.



Ju. Ju. Rudnickaia

STUDY OF DESCRIPTIVE PROCESS MODEL OF SHIP HANDLING AT AN OIL TERMINAL BASED ON TIMESHEETS

Abstract. Modern information systems and technologies make it possible to store a large amount of data on transport-logistics processes. Using various mathematical algorithms and methods of the data mining and machine learning, knowledge can be obtained and expressed as a behavioral model of the system. The process mining method is one of the relatively new methods and it is already widely used in different areas. Due to this method, one can simulate the whole process as it is and lately work with a valid re-reflection of the actual operations. Theoretically, transport-logistics

processes are an example of reg-ulated and structured processes. However, in practice, normative and descriptive models often have a lot of differences and such deviations cause bottlenecks in the workflow, and thus lead to temporal and financial losses. With the help of Process Mining algorithms, the actual process of ship entry processing at the oil terminal is represented as an undirected graph. The existing problems of port systems are marked, as well as the need to work with the actual process models. The possible options to optimize processes and, consequently, improve the competitiveness of the port were considered. The schemes of transport processes, in which sea port is involved, were presented. The place of the analysed processes in the overall process scheme is defined. The methods and documents involved in the process of creating the model were identified. Two received models of vessel's treatment were reflected and the main results of the analysis were described, problems and possible solutions were listed.

Key words: process analysis, workflow, process models, transport-logistics processes, oil terminals.

REFERENCES

1. *Osnovy transporta. Organizatsiia obrabotki sudov* [Fundamentals of transport. Organization of the vessels' processing]. Available at: <http://www.transportbasis.ru>.
2. Stepanov A. L. *Port v transportnoi logistike* [Port in transport logistics]. Saint-Petersburg, Izd-vo «Lion», 2008. 228 p.
3. Limonov E. L. *Vneshnetorgovye operatsii morskogo transporta i mul'timodal'nye perevozki* [Foreign trade operations of maritime transport and multimodal transportation]. Saint-Petersburg, Izd-vo «Modul'», 2016. 592 p.
4. Skhanova S. E., Popova O. V., Gorev A. E. *Transportno-ekspeditsionnoe obsluzhivanie* [Forwarding services]. Moscow, «Akademiia» Publ., 2005. 432 p.
5. *TNO Time for innovation. Tank terminal of the future: big brother is watching (09.09.2016)*. Available at: <https://time.tno.nl/en/articles/tank-terminal-of-the-future-big-brother-is-watching/>.
6. Aalst W. *Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes*. Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2011. 352 p.
7. *Massive Open Online Course: Process Mining: Data science in Action*. Available at: <https://www.coursera.org/learn/process-mining?>
8. Rozinat A. *Disco User's Guide*. Available at: <https://fluxicon.com/disco/files/Disco-User-Guide.pdf>.
9. *Ofitsial'nyi veb-sait Process Mining. Opisanie raboty algoritma Fuzzy Miner* [Description of Fuzzy Miner algorithm's work]. Available at: <https://www.processmining.org/online/fuzzyminer>.
10. *Ofitsial'nyi sait programmogo obespecheniia Disco* [The official website for software Disco]. Available at: <https://www.fluxicon.com>.
11. *Proekt Smart Port* [Smart Port Project]. Available at: <https://www.smart-port.nl>.
12. *TNO Time for innovation. No more traffic jams at the seaport (07.09.2016)*. Available at: <https://time.tno.nl/en/articles/no-more-traffic-jams-at-the-port/>.

The article submitted to the editors 07.12.2016

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Rudnitckaia Julia Jurjevna – Czech Republic, 60190, Brno; Brno University of Technology; Postgraduate Student of Department of Information Systems; irudnickaia@fit.vutbr.cz.

