

УДК 67.06

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЛАНИРОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ ПО ПЕРЕМЕЩЕНИЮ ГРУЗОВ ДЛЯ СКЛАДА



И.Г. Кораблев

Аспирант Уральского Федерального университета.



Д.Н. Гайнанов

Заведующий кафедрой аналитика больших данных и методы видеоанализа Уральского Федерального университета.

Уральский Федеральный Университет, РФ
E-mail: d.n.gainanov@urfu.ru

Аннотация. В работе рассмотрена задача автоматизированного планирования операций перемещения грузов на примере склада для металлургического производства. Подход подразумевает замену человека роботизированной системой и может применяться в рамках внедрения стратегии бережливого производства.

Ключевые слова: большие данные, склад,отдел, производство .

Введение

Рыночные условия диктуют для предприятий жёсткие условия по скорейшему обновлению производственных мощностей и управляющих систем. Производственники, игнорирующие возможности современных информационных технологий, начинают проигрывать более динамично развивающимся конкурентам. Предприятия вынуждены постоянно искать способы оптимизации своих бизнес процессов. В данной работе рассматривается подход к автоматизации/роботизации процесса планирования перемещения грузов на примере склада металлургического производства.

Описание типового склада в металлургическом производстве

Склад металлургического предприятия представляет собой, обычно, длинное цеховое помещение шириной 15-30 метров и длиной 100-300 метров. По всей площади склада склада могут располагаться производственные линии, агрегаты, транспортёры, ЖД и авто подъезды. Склады оборудуются электромостовыми кранами. Складскими единицами учёта в металлургическом производстве являются: слябы, металлические листы, рулоны, бунты штрипса, бунты проволоки, трубы, пакеты труб, пачки листов и т.д. Количество материала на складах в большей части случаев исчисляется тысячами единиц. Новые единицы учёта поступают на склад по подводящим транспортёрам, авто или ЖД транспортом.

Для рассматриваемой задачи интересны не все единицы учёта на складе, а только те материалы, которые запланированы к перемещению, использованию в производственном процессе и к отгрузке. Таких «запланированных» к перемещению единиц учёта на складе,

обычно, бывает сотни. Объёмный план перемещений материала формируется на большей части предприятий Автоматизированной системой управления производством (АСУП) или MES/MOM системой [1]. Для описания типового склада для металлургического производства воспользуемся условной картографической схемой (рисунок 1).

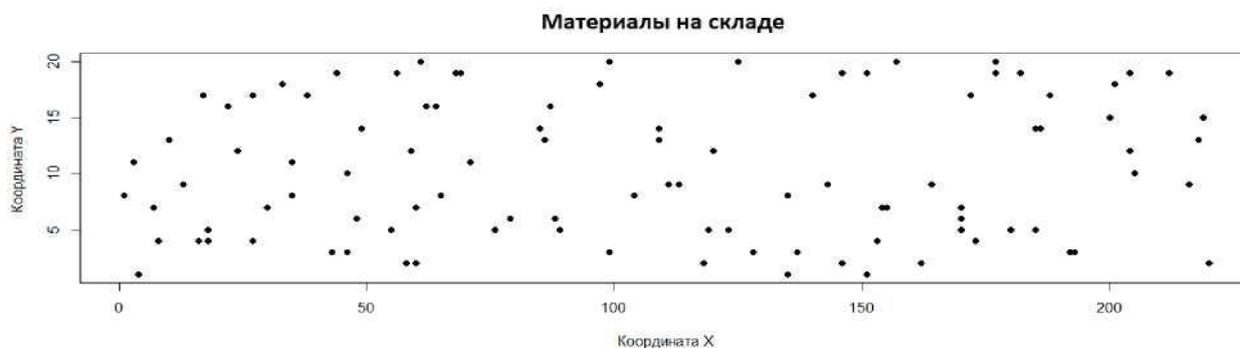


Рисунок 1. Схема склада с единицами учёта

На рисунке 1 символом • обозначены запланированные к перемещению складские единицы учёта на складе.

Каждая запланированная к перемещению складская единица учёта, обычно, имеет одну запланированную точку доставки. Точками доставки могут быть складские места, площадки хранения, задающие транспортёры производственных линий, передаточные тележки, ЖД вагоны, автотранспорт и т.д. Пример размещения точек доставки на складе показан на рисунке 2.

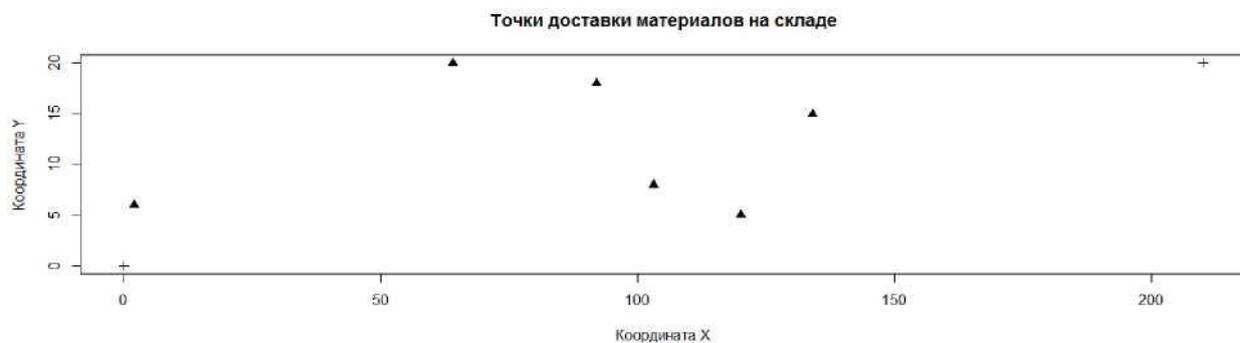


Рисунок 2. Схема склада с запланированными для материалов точками доставки.

На рисунке 2 символом ▲ обозначены запланированные точки доставки.

На рисунке 3 показаны связи между единицами учёта и запланированными для них плановыми местами доставки. Прямые линии на рисунке 3 – это кратчайшие маршруты перемещения материала от места хранения материала в запланированную точку назначения, по сути, векторы, одно задание на перемещение, которое требуется выполнить крановщику для перемещения единицы учёта из места хранения в точку назначения.

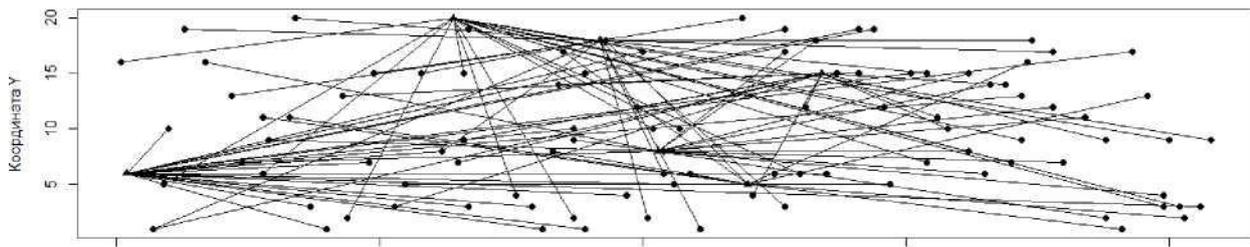


Рисунок 3. Связи материалов и точек доставки

На рисунке 4 схематично изображён пример склада с пятью электромостовыми кранами. Краны движутся по подкрановым рельсам и не могут «перескакивать» друг через друга. Например, для того, чтобы электромостовой кран 1 переместился в точку склада с координатой $x=200$ требуется чтобы все краны 2,3,4,5 выехали правее, за координату $x=200$, освобождая пространство для перемещения крана 1 к требуемому складскому месту $x=200$ с учётом безопасного расстояния между кранами.

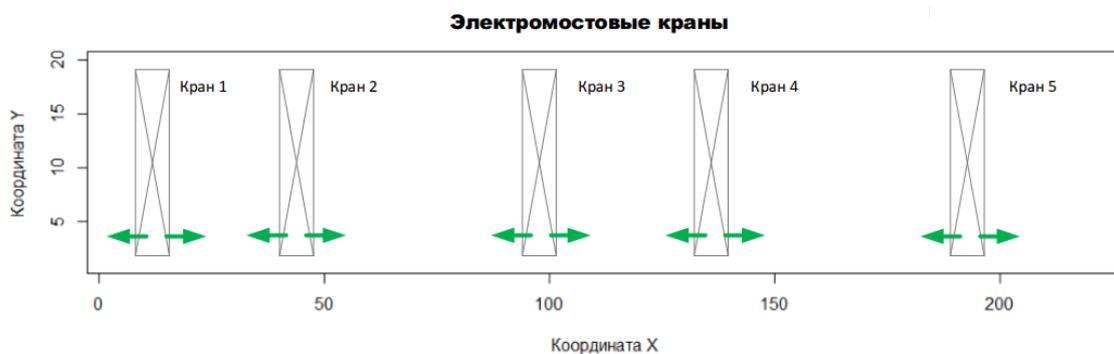


Рисунок 4. Электромостовые краны

На текущий момент планирование складских операций производится человеком – диспетчером. Эта роль в цехе, обычно, называется «Бригадир склада». Задания на перемещения передаются крановщикам по внутренней связи или специальными метками мелом на материалах. Существующий типовой бизнес процесс выполнения складских перемещений показан на рисунке 5.



Рисунок 5. Типовой бизнес процесс выполнения операций на перемещение «как есть»

«Бригадир склада» детализирует общий объёмный план MES-системы до уровня конкретных заданий на перемещения для конкретных складских единиц учёта для каждого конкретного крана. Уровень автоматизации всех операций LOA по Шеридану для рассматриваемого примера соответствует «ручным» операциям $LOA < 6$ [3].

Решение по автоматизации

Ключевыми предложениями по автоматизации склада являются:

- замена человека, «Бригадир склада», на автоматизированную систему планирования перемещений крановых операций;
- оснащение кабин крановщиков сенсорными моноблочными ПК с программным обеспечением, выдающим оптимизированную и непротиворечивую очередь команд на перемещение грузов, «навигатор» для крановщика.

Бизнес процесс для предлагаемого решения автоматизации показан на рисунке 6.



Рисунок 6. Бизнес процесс с автоматизированной системой планирования складских перемещений

Операция планирования, контроля очереди заданий на перемещения выполняется автоматически, без участия человека с $LOA=7$ [3]. На автоматизированном рабочем месте (АРМ) крановщика показывается список запланированных и выполненных заданий на перемещения, таблица 1.

Таблица 1

Список заданий, выводимый на ПК АРМ Крановщика

Время старта	Откуда		Время финиша	Куда		Тип операции	Материал №	Отметка
	X	Y		X	Y			
15:00:00	176	17	15:00:35	183	18	XX	65	Выполнено
15:00:35	183	18	15:01:17	196	1	PX	65	В работе
15:01:17	196	19	15:02:02	191	17	XX	74	План
15:02:02	191	17	15:02:53	177	1	PX	74	План
15:02:53	177	5	15:04:03	214	11	XX	42	План
...

В таблице 1.использованы сокращения для следующих типов операций: XX- холостой ход крана (без груза); PX - рабочий ход крана (с грузом).

Фактическое выполнение операции по перемещению материала в точку назначения квитируется крановщиком вручную, касанием сенсорного экрана монитора в кабине крана, или фиксируется автоматически при наличии на складе триангуляционных систем позиционирования тележки и крюка крана.

Перепланирование очереди заданий на перемещения грузов происходит автоматически по событиям фактического выполнения/ не выполнения выданных заданий, при изме-

нении основного плана производства, при изменении количества доступных для планирования кранов.

Описание модели для программного обеспечения

Модель формирует сеть Петри с контролем заданных ограничений [2]. Работа модели основывается на подходах к решению задач Np-сложности [2]. Входные данные для модели: материалы на складе; точки доставки; задания на перемещения грузов в точки доставки; свободные краны. Модель включает в себя настраиваемые ограничения: размеры склада, скорость движения кранов, минимальное допустимое расстояние между кранами. Результатом работы модели является план-график перемещения материалов и расчётные плановые показатели эффективности. Пример плана-графика перемещения материалов в виде диаграммы Гантта приведён на рисунке 7.

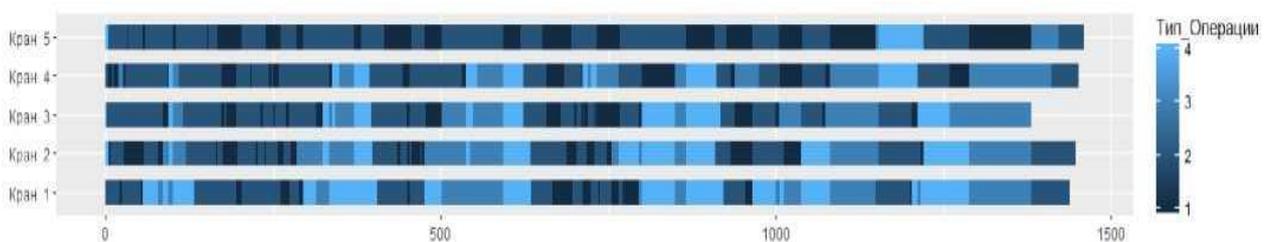


Рисунок 7. Пример плана-графика для 5-и кранов

На рисунке 7 цветом и цифрами показаны типы операций для кранов: 1 – перемещение крана «с грузом» (PX); 2 – холостой ход крана «за грузом» (XX); 3 – вынужденный холостой ход крана для освобождения подкрановых путей для другого крана; 4 – вынужденная остановка, бездействие крана.

Работа модели основана на выдаче заданий кранам со следующими правилами:

- кран выполняет операции рабочего хода (PX) крана по переносу груза в точку доставки, операции холостого хода (XX) без груза или может быть остановлен;
- маршруты (векторы движения) кранов не пересекаются, расстояние между кранами в любой момент времени не должно превышать заданной допустимой дистанции (безопасного расстояния);
- кран, по возможности, работает в своей складской зоне, не мешая и не «заходя» в складские зоны других кранов. Размер зоны действия каждого крана зависят от общего количества кранов, размеров склада;
- краны освобождают подкрановые пути для других кранов, переносящих грузы.

На каждом шаге планирования для каждого крана из множества возможных для выполнения заданий выбирается оптимальная операция A_t по перемещению груза по следующим числовым критериям:

- A1 – ближайший к крану материал, вес критерия W_x ;
- A2 – отношение рабочего хода к холостому ходу для операции по перемещению одного материала, вес критерия W_2 ;
- A3 – близость материала к в «своей» рабочей зоне крана, вес критерия W_3 ;
- A4 – близость точки доставки материала к «своей» рабочей зоне крана, вес критерия W_4 ;
- A5 – доставка груза не позднее заданного в задании времени, вес критерия W_5 ;
- A6 – доставка груза не ранее заданного в задании времени, вес критерия W_6 ;
- A7 – доставка груза точно вовремя, вес критерия W_7 ;

Суммарный вес W_{mj} для каждой потенциально возможной операции j по перемещению материала m на каждом шаге планирования вычисляется по формуле:

$$W_{mj} = \sum_{i=1}^6 A_i * W_i$$

Для выполнения выбирается одна операция с максимальным суммарным весом

$$W_{mj} = \max(W_{m_1}, \dots, W_{m_n})$$

Качество работы модели определяется путём анализа готового варианта плана-графика по ключевыми показателями эффективности (КПЭ)[2]. В представленной модели рассчитываются следующие КПЭ:

- KPI_t – время выполнения всех заданий на перемещения, сек.;
- KPI_{xx} – суммарный путь пройденный кранами вхолостую, без груза, м;
- $KPI\rho$ – условная стоимость выполнения заданий, определяемая как суммарное время задействованных в плане кранов и их почасовая стоимость использования, руб.;
- KPI_{T_OUT} – суммарное время задержки при доставке грузов, сек.;
- KPI_{T_BEFORE} – суммарное время преждевременной доставки грузов, сек.;
- KPI_{IN_T} – количество заданий выполненных точно вовремя (Just in Time).

Подбор различных коэффициентов W_t позволяет обеспечить вариативность «поведения» кранов. Изменяя W_t на одном наборе входных данных можно построить несколько экземпляров графиков и выбрать лучший вариант графика с лучшими требуемыми значениями KPI .

Обучение модели на различных наборах входных данных и поиск оптимальных W_i проводится методом жадного рандомизированного адаптивного поиска (GRASP)[6] до нескольких часов. Далее, при наличии стратегии – готовых оптимальных W_i , модель строит новые планы для аналогичных входных наборов данных в течении нескольких десятков секунд.

Чтобы ускорить работы применялось оборудование Уральского аналитического центра обработки больших данных при Уральском Федеральном Университете. В частности кластер для массивно-параллельных вычислений.

Экспериментальное моделирование

Моделирование проводилось на одном наборе данных из 100 случайно распределённых по складу материалов и 10-ти точек доставки материалов. Для каждого материала случайным образом задавалось допустимое временное окно для доставки груза: «не ранее», «не позже». Цель эксперимента – определить на сколько план, выданный рассматриваемой моделью, будет иметь лучшие KPI , чем план, сформированный человеком.

Результаты работы модели в графическом виде для 1-го крана приведен на рисунках 8- 9. В верхней части рисунка приводится график движения крана без оптимизации, в нижней – оптимизированный график.

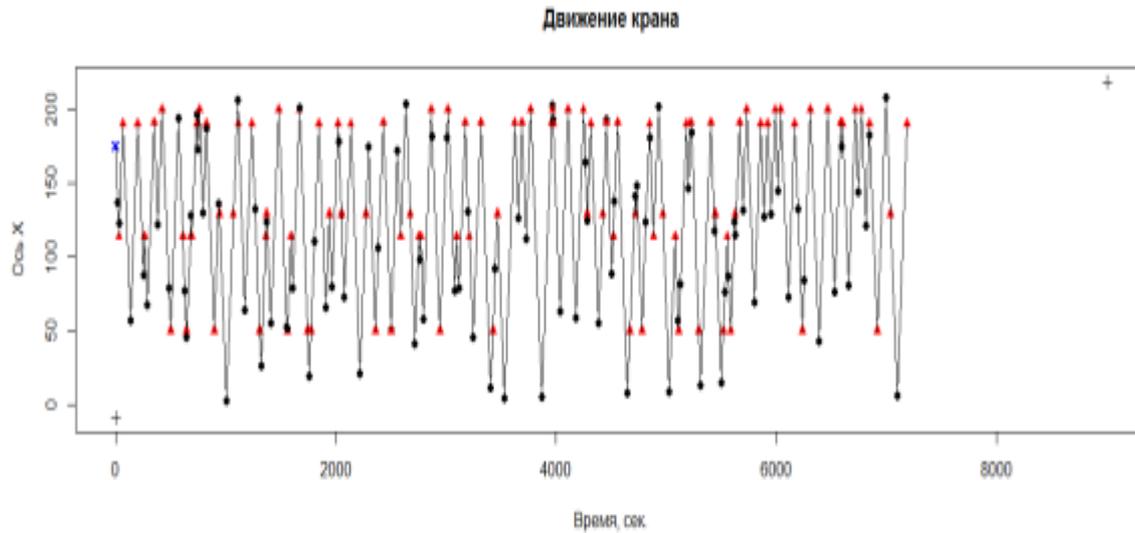


Рисунок 8. Неоптимизированный график движения для 1-го крана

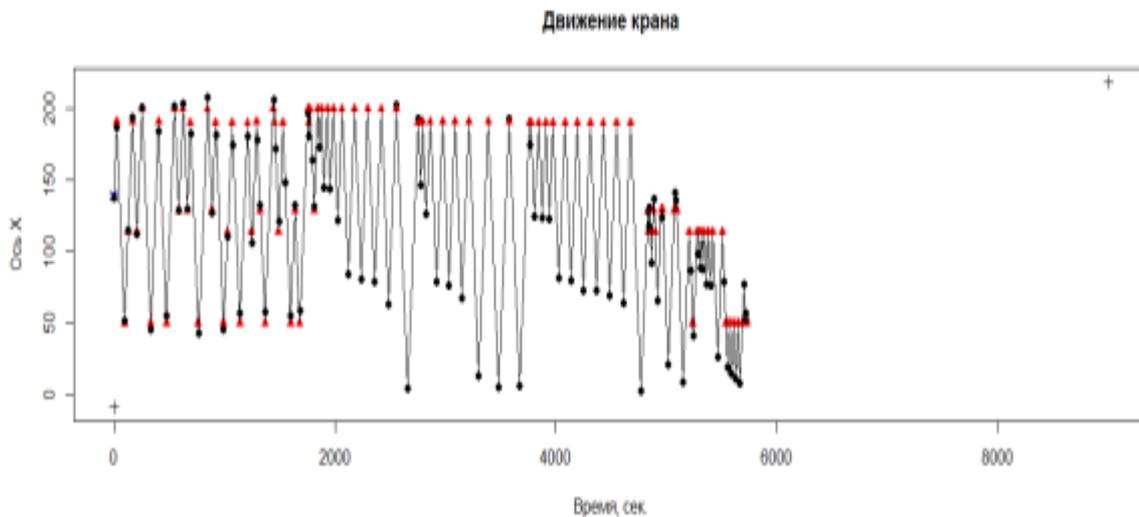


Рисунок 9. Оптимизированный график движения для 1-го крана

Под неоптимизированным режимом планирования подразумевается график, строящийся человеком, при котором материалы должны доставляться, по возможности, точно вовремя, со значениями весовых коэффициентов $W_1 = 0$, $W_2 = 0$, $W_3 = 0$, $W_4 = 0$, $W_5 = 5$, $W_6 = 5$.

В таблице 2 приведены результаты планирования – *KPI* для оптимизированных и неоптимизированных графиков. Оптимизированные графики строятся на подобранных оптимальных W_i на основе опыта выборок предыдущих периодов.

Из данных таблицы 2 следует видимый эффект от машинной оптимизации складских операций перемещения грузов до 20%. С учётом даже имеющихся у заказчиков правил и оптимизации хранения и перемещения грузов, в среднем, внедрение подобных систем планирования увеличивает производительность рабочих центров не менее 4-5% [4].

Таблица 2

Сравнение KPI для неоптимизированных и оптимизированных планов - графиков для различного количества кранов

Кранов	График	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	KPI_t	KPI_{XX}	KPI_{PX}	KPI_{PX+XX}	KPI_g
1	Без оптимизации	0	0	0	0	5	5	7167.5	7012	7323	14335	7014.5
	С оптимизацией	0.5	0.75	0.75	0.5	5	5	5684	4045	7323	11368	5684
Изменение КПЭ								20.0%	40.0%	0.0%	20.0%	20.0%
2	Без оптимизации	0	0	0	0	5	5	3527.5	6438	7323	13761	6908
	С оптимизацией	0.75	0.75	0.25	0.75	5	5	3219.5	5073	7323	12396	6393
Изменение КПЭ								10.0%	20.0%	0.0%	10.0%	10.0%
3	Без оптимизации	0	0	0	0	5	5	2590	7158	7323	14481	7501.5
	С оптимизацией	0	1	0.5	1	5	5	2280	5680	7323	13003	6817.5
Изменение КПЭ								10.0%	20.0%	0.0%	10.0%	10.0%
4	Без оптимизации	0	0	0	0	5	5	1963	7643	7323	14966	7478
	С оптимизацией	1	0.5	0.5	1	5	5	1812.5	6592	7323	13915	6930
Изменение КПЭ								10.0%	10.0%	0.0%	10.0%	10.0%
5	Без оптимизации	0	0	0	0	5	5	1848.5	9635	7323	16958	8715
	С оптимизацией	0.75	1	0.5	0.25	5	5	1535	7551	7323	14874	7580
Изменение КПЭ								20.0%	20.0%	0.0%	10.0%	10.0%
Среднее изменение КПЭ								14.0%	22.0%	0.0%	12.0%	12.0%

Оценочный расчёт экономического эффекта

Экономический эффект от внедрения системы автоматического планирования в производстве может быть обеспечен за счёт следующих факторов:

- сокращение сменного персонала «Бригадир склада»;
- уменьшение потребления энергоресурсов и повышение ОЕЕ [5] кранов;
- уменьшение количества кранов, задействованных для выполнения того же объёма заданий за меньшее время;
- уменьшение или сокращение количества крановщиков.

Для одного склада длиной 250 метров с 5-ю кранами и режимом работы 24x7 оценочный расчёт даёт цифру окупаемости внедрения модели 4 месяца, экономический эффект до 10 000 000 руб. в год.

Заключение

Описанная модель планирования даже в самом простом исполнении эффективно может заменить человека, строить планы с заданными KPI, рассчитывать плановый и фактический коэффициент ОЕЕ [5], не требует особых вычислительных мощностей и для повышения эффективности может обучаться на больших выборках. Отдельно следует отметить что общая концепция построения оптимизационных моделей развиваемая в рамках Уральского Федерального Университета строится на применении специализированной программной платформы, позволяющей все локальные модели производств объединить в едином информационном поле. Сочетание моделирования с хранилищем данных со всех переделов производства, когда эти данные поступают в реальном масштабе времени, предложено пользователям впервые. На основе собранных статистических данных и построенных на базе них моделей, Система может выдавать рекомендации об оптимальном движении

материальных потоков и, соответственно, об изменениях инфраструктуры предприятия. Система может использоваться работниками предприятия и как инструмент для получения моделей производственных процессов, и как хранилище моделей в целях их использования. Постоянное поступление данных в систему позволяет применять, проверять и использовать модели, не покидая системы, в рамках единого для предприятия бизнес-процесса, что позволит избежать разрозненных работ по оптимизации, которые часто не приносят желаемого результата, поскольку не учитывают взаимодействия с другими переделами [7]

Литература

- [1] ГОСТ Р МЭК 62264-1-2014 Интеграция систем управления предприятием. Часть 1. Модели и терминология.
- [2] Загидуллин Р.Р. Управление машиностроительным производством с помощью систем MES, APS, ERP. Издательство «Тонкие наукоёмкие технологии», 2011.
- [3] Кораблев И.Г. Оценка уровня автоматизации бизнес-процессов предприятия. Вестник Череповецкого государственного университета, 2016 г.
- [4] Канторович Л. В. Математико-экономические работы / Л. В. Канторович. – Новосибирск: Наука, 2011. – 760 с. – (Избранные труды).
- [5] «Origin of OEE». OEE Foundation. Retrieved 15 July 2015.
- [6] Щербина О.А. Метаэвристические алгоритмы для задач комбинаторной оптимизации (обзор), Таврмський вюник Ёформатики та математики, №1 (24), 2014.
- [7] Беренов Д.А., Белан С.Б., Аксенов К.А., Перескоков С.А. Полностью оцифрованное металлургическое производство: Слежение, аналитика, моделирование // Фундаментальные исследования. - 2017. - № 9 (часть 2); URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41739> (дата обращения: 20.04.2018).

AUTOMATED PLANNING OF CARGO MOVEMENT OPERATIONS IN THE WAREHOUSE

I.G. KORABLEV

Ural Federal University

D.N. GAINANOV

Head of the Department of the Big Data analytics and methods of videoanalysis, Ural Federal University.

Ural Federal University, Russian

E-mail: d.n.gainanov@urfu.ru

Abstract. The paper deals with the problem of automated planning of cargo movement operations on the example of a warehouse for metallurgical production. The approach involves the replacement human to robotic system and can be used as part of the implementation of lean production strategy.

Keywords: big data; np complexity, planing, lean production, warehouse