
Сравнение метода Канбан и мультиагентного подхода при распределении ресурсов между однотипными подразделениями промышленного предприятия

К.А. Аксенов, С.Н. Медведев

Уральский федеральный университет, Екатеринбург

Аннотация: Крупные промышленные предприятия можно сравнить со сложной динамической системой, в которой постоянно требуется принимать управленческие решения. Одним из основных решений управления, от которого зависят основные показатели деятельности предприятия, является процесс управления планированием производства продукции. В процессе организации принятия решений могут применяться информационные системы, в основе которых используются математические и эвристические методы расчетов.

Ключевые слова: планирование производства, распределение ресурсов, Канбан.

Введение

При организации и управлении производством возникает ряд важных вопросов [1], одним из которых является задача эффективности использования имеющихся у предприятия ресурсов. В ряде случаев, на крупных промышленных предприятиях, построенных в нашей стране в 50-60 г. 20 века, были спроектированы и реализованы так называемые однотипные ресурсы: структурные подразделения, производственные линии, отдельные технологические устройства между которыми предполагалось распределять объемы производства продукции. Вопрос распределения между такими ресурсами предприятия заключается в составлении эффективного плана разделения входящих производственных заказов, обеспечивающего равномерную загрузку подразделений и оборудования. В качестве основы для составления плана производства выступает технологический процесс изготовления продукции. Технологический процесс может быть, как сквозным, т.е. объединять в себе технологические операции по изготовлению продукта в нескольких структурных подразделениях, так и индивидуальным, охватывающим лишь операции, выполняемые в конкретном структурном подразделении.

Уровень составления планов отличается и может делиться: на цеховые, разрабатываемые внутри структурного подразделения; заводские, которые распределяют заказы между подразделениями. При широкой номенклатуре производимой продукции составления планов невозможно представить без применения информационных систем классов MES и ERP, основным посылом которых является снижение производственных затрат и повышения эффективности процессов. В основе таких систем лежат различные математические и эвристические подходы. Принцип распределения заказов и их отслеживание в MES, ERP системах подобен системе разработанной компанией Тойота. Данная система начала зарождаться в 40-х годах 20 века сразу после Второй мировой войны в Японии на автомобильном заводе компании Тойота. Основателем этой системы является Тайити Оно [2]. Данная производственная система является одной из лучших систем управления производством, в том числе, и на промышленных предприятиях. Основным методом организации производственного процесса данной системы является метод Канбан. Канбан представляет собой карточку (листок) и служит, как средство визуального управления и содержит всю информацию о материалах, необходимых для изготовления или сборки продукции на каждой стадии производства, а также информацию о траектории перемещения материалов. Карточки Канбан применяются для контроля (отслеживания) потока производства и потока запасов [3].

Согласно статистике, около 30% крупных компаний, штат которых состоит из более 10000 сотрудников, внедрили систему Канбан [4]. Показатели повышения эффективности использования имеющихся ресурсов таких компаний от внедрения системы Канбан, составил в диапазоне 20-90% [5]. Эффективность в таких случаях, применительно к промышленным предприятиям, может отразиться в таких процессах, как: процессы сокращения производственного цикла изготовления продукции, повышение

загрузки имеющегося оборудования, снижение бракованной продукции, эффективная организация рабочего места.

Количество производимой продукции напрямую влияет на затраты возникающие в процессе производства продукции. При этом нужно понимать, что максимально возможный выпуск при имеющихся ресурсах не означает достижение минимальных затрат. Например, эффективная загрузка технологического оборудования в цехе промышленного предприятия должна находиться на уровне 0,85 (85%) [6], при которой достигаются наименьшие затраты при производстве продукции. Подводя итог вышесказанному, можно сделать вывод, что используемые подходы в распределении ресурсов при выполнении заказов будут прямым образом влиять на себестоимость изготовления продукции.

Мультиагентный метод планирования распределения ресурсов на основе метода Канбан

Применение метода Канбан, как инструмента для выстраивания процессов и планирования изготовления продукции, в различных отраслях экономики [7] доказало свою целесообразность, что выразилось в получении экономического эффекта. В основе метода Канбан, как ранее сказано, лежит карточка [8], которая обозначает конкретный производственный заказ. На крупных предприятиях производственные заказы формируются на основе утвержденных годовых планов выпуска продукции. При этом, при поступлении новых заказов или изменении технологических возможностей структурных подразделений, создаваемая карточка Канбан будет направляться в структурное подразделение, которое может выполнить производственный заказ. Предлагаемый авторами метод распределения заказов мультиагентного процесса преобразования ресурсов (МППР) [2,9,10] основан на методе Канбан, но при этом имеет ряд доработок для учета особенностей крупных промышленных предприятий:

- возможность разделения заказа на части и выполнение в однотипных структурных подразделениях, на основе собранных с подразделений в режиме реального времени данных о текущем наличии ресурсов (учет работы оборудования и персонала);

- распределение заказа по наиболее выгодному маршруту с точки зрения изготовления и выравнивания производства (равномерность загрузки ресурсов (персонала и оборудования));

- модель интеллектуальных агентов, продукционная база знаний которых состоит из правил расчетов анализа производственных мощностей и распределения по данным производственным мощностям. Правила агентов приведены в таблице №1.

Таблица № 1 Правила интеллектуальных агентов

№ п/п	Имя ситуации	IF	THEN
1	2	3	4
Агент параметров заказа			
1	Определение параметров входящего заказа	1. Расчет трудоемкости изготовления заказа на каждом производственном маршруте 2. Определение текущей загрузки на маршрутах изготовления 3. Определение индекса возможности выполнения	Передача расчетных параметров (временных переменных) «Агенту возможностей»
Агент возможностей			
2	Изготовление на маршруте 1 (загрузка маршрута 1 < маршрута 2)	1. Мощности маршрута 1 доступны 2. Индекс возможности выполнения указывает на преимущество в изготовлении на маршруте 1	1. Уменьшение мощности на трудоемкость заказа 2. Передача заказа на изготовление 3. Обнуление временных переменных

1	2	3	4
3	Изготовление на маршруте 1 (загрузка маршрута 1 > маршрута 2)	1. Мощности маршрута 1 доступны 2. Индекс возможности выполнения указывает на преимущество изготовления на маршруте 2	1. Повторный запуск «Агента возможностей» 2. Обнуление временных переменных 3. Установка параметра перецебования (преимущество изготовления)
4	Изготовление на маршруте 1 (Доступность не всех цехов)	Мощности некоторых цехов на маршруте 1 не достаточны для выполнения заказа	1. Повторный запуск «Агента возможностей» 2. Обнуление временных переменных 3. Установка параметра перецебования (недоступность маршрута 1)
5	Изготовление на маршруте 1 (Недостаточность мощности)	Мощности маршрута 1 не достаточны для выполнения заказа	1. Определение объема выполнения из заказа на маршруте 1 (доступного) 2. Повторный запуск «Агента возможностей» 3. Обнуление временных переменных 4. Установка параметра перецебования (недоступность маршрута 1)
6	Изготовление на маршруте 2 (Мощности доступны)	1. Мощности маршрута 1 не достаточны или преимущество выполнения на маршруте 2 2. Мощности маршрута 2 достаточны для выполнения заказа	1. Уменьшение мощности на трудоемкость заказа 2. Передача заказа на изготовление 3. Обнуление временных переменных
7	Изготовление маршрут 2 (Недоступны мощности)	1. Мощности маршрута 1 и маршрута 2 не достаточны для выполнения заказа	1. Повторный запуск «Агента возможностей» 2. Определение доступных мощностей на маршруте 2 для выполнения оставшейся части из заказа

1	2	3	4
8	Разделение заказа между маршрутами	Доступны мощности для выполнения объема из заказа на маршруте 2	1. Уменьшение мощности на трудоемкость заказа на каждом маршруте 2. Передача заказа на изготовление 3. Обнуление временных переменных
9	Отсутствие возможности по изготовлению	Мощностей на маршрутах 1 и 2 не достаточно для выполнения заказа	1. Определение объема выполнения из заказа на маршруте 2 2. Определение возможных объемов для изготовления из заказа для каждого маршрута 3. Передача параметров «Агенту перецекования» 4. Обнуление временных переменных
Агент перецекования			
10	Изготовление части заказа «Агент перецекования»	1. Свободные мощности имеются на маршрутах 1 и 2 (загрузка не более 85%) 2. Установлен параметр отсутствия достаточных мощностей	1. Разделение заказа на 2 части 2. Распределение части заказа на маршруты для изготовления 3. Помещение части заказа в очередь ожидания 4. Установка параметра по остановке приемки заказов
11	Выполнение 2 части заказа	Свободные мощности имеются на маршрутах 1 или 2	1. Изготовление 2 части заказа 2. Обнуление параметра по остановке заказов

Экспериментальное сравнение моделей производственных процессов методом КАНБАН и МППР

Для определения наиболее эффективного подхода в распределении производственных заказов между производственными подразделениями,

проведем сравнение методов посредством построения моделей производственных процессов. В качестве примера рассмотрим изготовление продукции 2-х заказов в двух однотипных подразделениях, но с разными производственными мощностями. Блок – схема структурных подразделений представлена на рис.1.

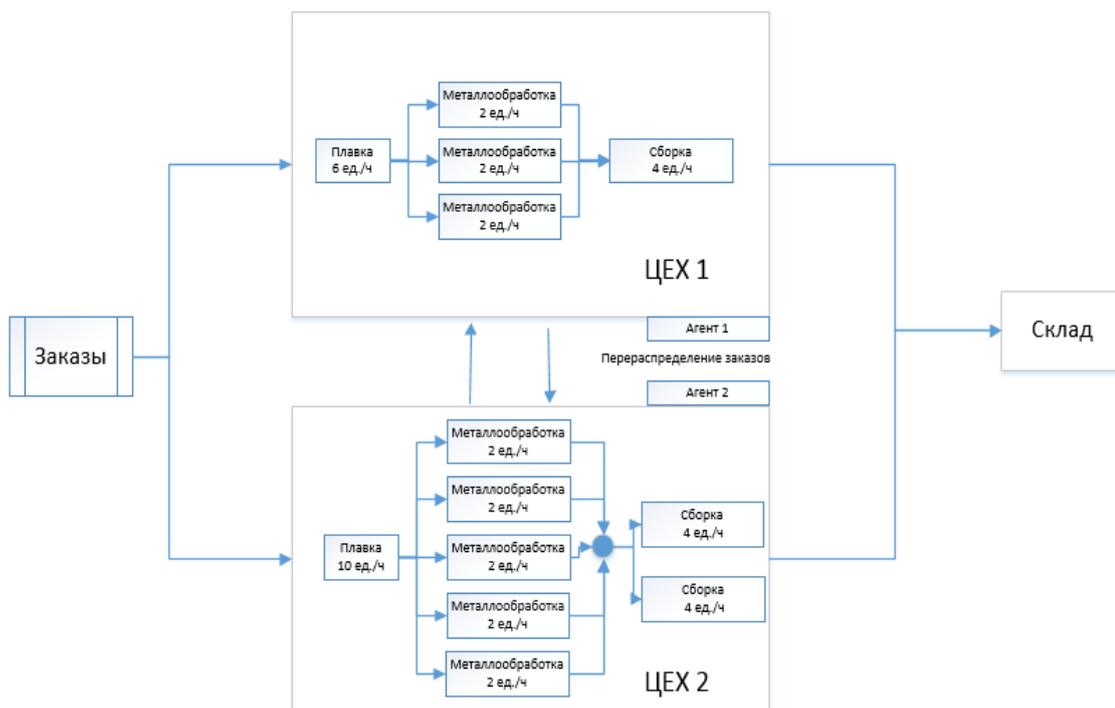


Рис. 1. – Блок-схема структурных подразделений

Схема, предложенная на рис.1, включает в себя поступление заказов из единого источника, выполнение заказов структурными подразделениями и передача готовой продукции на единый склад. Рассмотрим вариант 1. Распределение по заказам следующее: Заказ 1 – 16 ед. продукции (цех 1), Заказ 2 – 40 ед. продукции (цех 2). Работа модели по методу МППР возможна с запасами полуфабрикатов, метод Канбан не предполагает наличие запасов полуфабрикатов. Графики изготовления продукции по методам МППР, «классический» Канбан – без запасов, и доработанный Канбан (с возможностью запасов) приведены на рис.2, соответственно. Если производство не предполагает наличие запасов полуфабрикатов, то метод МППР работает аналогично методу Канбан.

А) МППР (16 и 40, запасы полуфабрикатов)									
ЦЕХ 1							ИТОГО		
Плавка, шт.	6	6	6				18	Плавка, шт.	
Uk_плавка	1	1	1				0,6	Uk_ср_плавка	
Металлообработка,шт	6	6	4				16	Металлообработка,шт	
Uk_металлообработка	1	1	0,667				0,5333	Uk_ср_металлообработка	
Сборка, шт	4	4	4	4			16	Сборка, шт	
Uk_сборка	1	1	1	1			0,8	Uk_ср_сборка	
t	1	2	3	4	5	6	7		
ЦЕХ 2									
Плавка, шт.	10	10	10	10			40	Плавка, шт.	
Uk_плавка	1	1	1	1			0,8	Uk_ср_плавка	
Металлообработка,шт	10	10	10	10			40	Металлообработка,шт	
Uk_металлообработка	1	1	1	1			0,8	Uk_ср_металлообработка	
Сборка, шт	8	8	8	8	8		40	Сборка, шт	
Uk_сборка	1	1	1	1	1		1	Uk_ср_сборка	
t	1	2	3	4	5	6	7		
Б) "Классический" КАНБАН (16 и 40, без запасов)									
ЦЕХ 1							ИТОГО		
Плавка, шт.	6	6	6				18	Плавка, шт.	
Uk_плавка	1	1	1				0,4286	Uk_ср_плавка	
Металлообработка,шт		6	6	4			16	Металлообработка,шт	
Uk_металлообработка		1	1	0,667			0,381	Uk_ср_металлообработка	
Сборка, шт			4	4	4	4	16	Сборка, шт	
Uk_сборка			1	1	1	1	0,5714	Uk_ср_сборка	
t	1	2	3	4	5	6	7		
ЦЕХ 2									
Плавка, шт.	10	10	10	10			40	Плавка, шт.	
Uk_плавка	1	1	1	1			0,5714	Uk_ср_плавка	
Металлообработка,шт		10	10	10	10		40	Металлообработка,шт	
Uk_металлообработка		1	1	1	1		0,5714	Uk_ср_металлообработка	
Сборка, шт			8	8	8	8	40	Сборка, шт	
Uk_сборка			1	1	1	1	0,7143	Uk_ср_сборка	
t	1	2	3	4	5	6	7		

Рис. 2. – Распределение заказов 16 (цех 1), 40 (цех 2), МППР (с запасами полуфабрикатов) и Канбан (без запасов)

Как видно из рис.2, метод МППР (при наличии полуфабрикатов для операций металлообработки и сборки), позволяет на 2 ед. времени быстрее завершить оба заказа и демонстрирует более жадную стратегию использования ресурсов с начального момента времени.

Вариант 2 распределения по заказам следующий: Заказ 1 – 16 ед. продукции (цех 1), Заказ 2 – 60 ед. продукции (цех 2), дополнительный фактор - простой (поломка) печи цеха 2 на 1 ед. времени на 4-ом моменте времени. Как видно из рис. 3: 1) метод МППР (вариант А) демонстрирует

равномерное распределение суммарного объема заказов между двумя цехами и укладывается в их выполнение за 7 единиц времени; 2) классический Канбан (вариант Б) суммарный объем заказов выполняет за 10 единиц времени; 3) если в методе Канбан допустить применение запасов полуфабрикатов (вариант В), то суммарный объем заказов реализуется как в варианте А за 7 единиц времени, но данный вариант не решает задачу балансировки нагрузки между цехами.

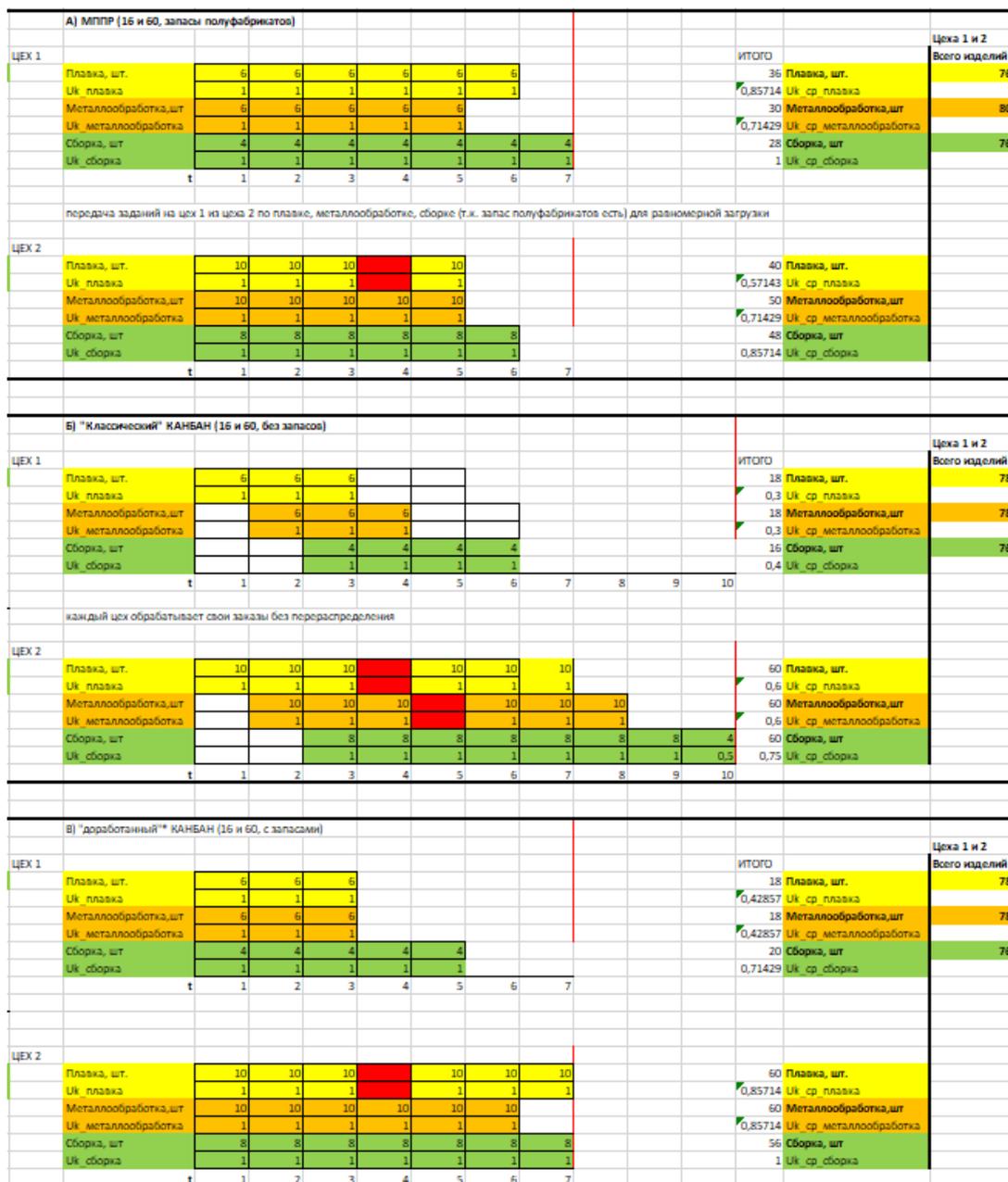


Рис. 3. – Распределение заказов 16 (цех 1), 60 (цех 2), остановка печи в цеху 2 на 1 единицу времени

Если рассмотреть вариант 3, представляющий модификацию варианта 2 при следующих дополнительных условиях: 1) распределение заказов цех 1 – 36 изделий, цех 2 – 60 изделий; 2) операции для одного изделия (плавка – металлообработка – сборка) должны проходить по принципу FIFO и в случае остановки одного из участков на текущем моменте времени, последующий участок останавливается на следующем моменте времени; 3) печь цеха 2 останавливается на 3 единицы времени.

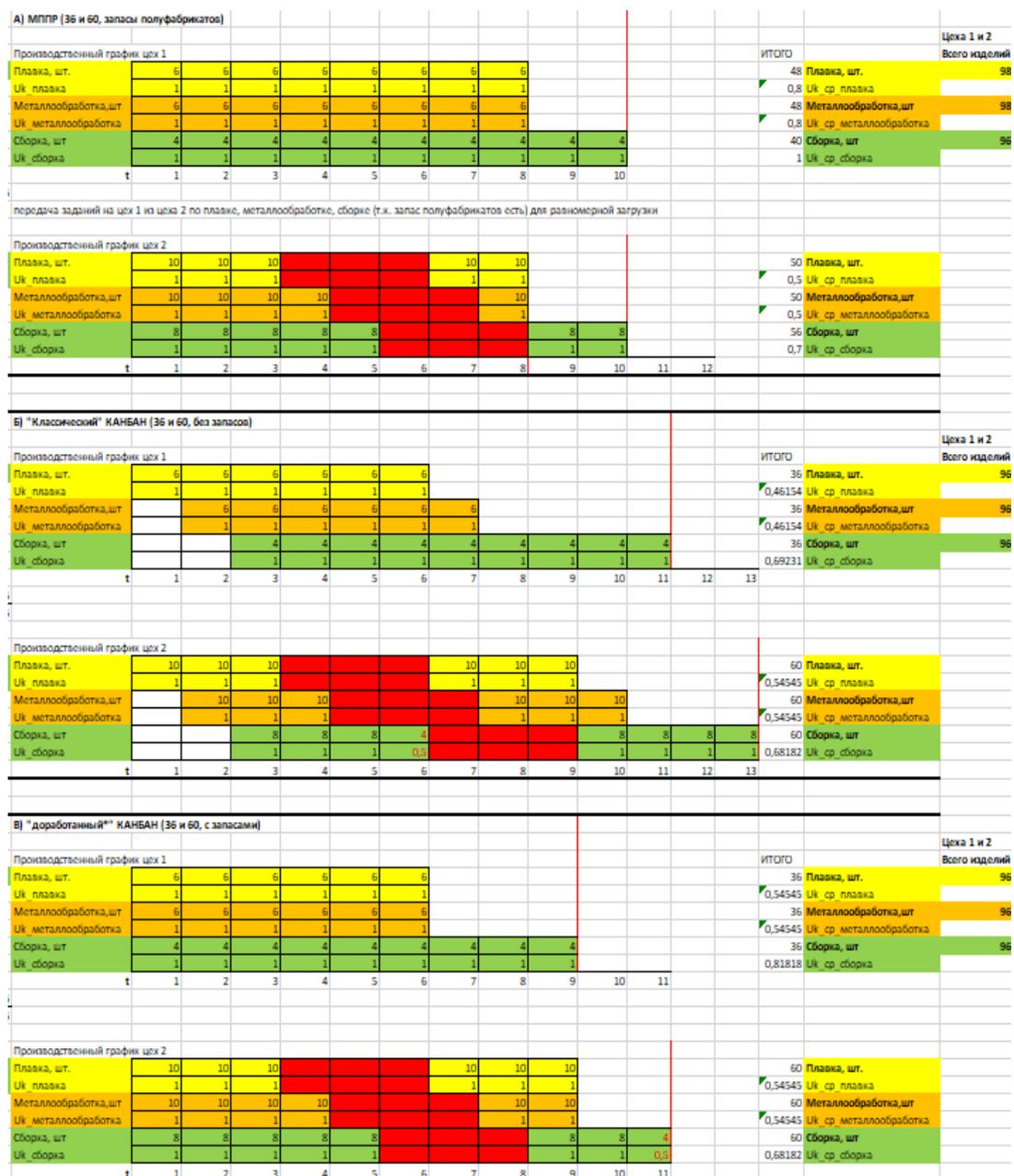


Рис. 4. – Распределение заказов 36 изделий (цех 1), 60 изделий (цех 2), каскадная остановка участков на 3 единицы времени

Как видно из рис. 4: 1) метод МППР (вариант А) демонстрирует равномерное распределение суммарного объема заказов между двумя цехами и укладывается в их выполнение за 10 единиц времени; 2) классический Канбан (вариант Б) суммарный объем заказов выполняет за 13 единиц времени; 3) если в методе Канбан допустить применение запасов полуфабрикатов (вариант В), то суммарный объем заказов реализуется за 11 единиц времени, но данный вариант не решает задачу балансировки нагрузки между цехами.

Из представленной диаграммы видно, что в методе МППР за счет перераспределения заказов между подразделениями, при равных условиях с методом Канбан, время изготовления продукции меньше.

Выводы

Сравнение методов МППР и Канбан показывает, что метод, основанный на подходе Канбан, близок по производительности к подходу МППР в случаях наличия запасов и отсутствия простоев технологического оборудования, но, в случае возникновения простоев, длительность изготовления заказов увеличивается. В случаях, когда используется классический метод Канбан (без запасов полуфабрикатов), мультиагентный подход выигрывает по скорости выполнения заказов.

Применение подхода МППР имеет преимущество в сравнении с Канбан при возникновении случаев ограничений на ресурсы (выход из строя оборудования, планово-предупредительный ремонт, каскадная остановка участков) за счет применения интеллектуальных агентов с правилами, позволяющими производить перераспределение заказов между подразделениями, что видно из результатов анализа экспериментов. Новый метод показывает лучшие результаты по времени выполнения заказов и балансировки нагрузки между ресурсами однотипных подразделений в

условиях возможности применения стратегии «производство на склад» и запасов ресурсов и полуфабрикатов для производственных операций.

Литература

1. Паштова Л.Г. Актуальные вопросы организации и управления производством на предприятии // Инженерный вестник Дона, 2014, № 2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2014/2442

2. Medvedev S.N., Aksyonov K.A. Comparative analysis of multi-agent systems and Kanban system in the construction of operational production plans for engineering enterprises // 24th Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology”, 2014. Vol. 1. pp. 433-434.

3. Нагаевский, В. И., Булгакова Ю. В. Возможности применения производственно-транспортной системы Канбан в машиностроении (на примере изготовления вагонов) // Вісник Приазовського державного технічного університету, 2011. С. 241-245.

4. State of Kanban Report 2022. Kanban University. URL: kanban.university/wp-content/uploads/2022/10/State-of-Kanban-Report-2022.pdf

5. Ritesh R. Bhat, S. Shivakumar Improving the Productivity using Value Stream Mapping and Kanban Approach. International Journal of Scientific & Engineering Research, 2011. Vol. 2. pp. 1-5.

6. Шабашов А.А. Проектирование машиностроительного производства. Екатеринбург: УрФУ, 2016. 76 с.

7. Монастыренко В.А. Эффективная организация строительного процесса // Инженерный вестник Дона, 2008 № 2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2008/57.

8. Кондратьев А.С., Медведев С.Н., Аксенова О.П. Исследование производственного процесса и стратегии распределения заказов металлургического предприятия на основе имитационного моделирования и

алгоритмов перецеповки // 26-я Международная Крымская конференция "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии", 2016. С. 763 – 769.

9. Аксенов К.А., Неволлина А.Л., Аксенова О.П., Камельский В.Д. Разработка модели логистики на основе интеграции концептуального, объектно-ориентированного, мультиагентного и имитационного моделирования, интеллектуальных систем // Инженерный вестник Дона, 2013, № 1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y20131486.

10. Antonova A.S., Aksyonov K.A., Aksyonova O.P. An imitation and heuristic method for scheduling with subcontracted resources. Mathematics 2021, 9(17), 2098 URL: [doi.org.ru/10.3390/math9172098](https://doi.org/10.3390/math9172098).

References

1. Pashtova L.G. Inzhenernyj vestnik Dona, 2014, № 2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2014/2442

2. Medvedev S.N., Aksyonov K.A. 24th Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology”, 2014. Vol. 1. pp. 433-434.

3. Nagaevskij, V.I., Bulgakova Yu.V. Visnik Priazovskogo derzhavnogo texnichnogo universitetu, 2011. pp. 241-245.

4. State of Kanban Report 2022. Kanban University. URL: kanban.university/wp-content/uploads/2022/10/State-of-Kanban-Report-2022.pdf

5. Ritesh R. Bhat, S. Shivakumar International Journal of Scientific & Engineering Research, 2011. Vol. 2. pp. 1-5.

6. Shabashov A.A. Proektirovanie mashinostroitel'nogo proizvodstva. Ekaterinburg: UrFU, 2016. 76 p.

7. Monastyrenko V.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2008, № 2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2008/57.

8. Kondrat'ev A.S., Medvedev S.N., Aksenova O.P. 26-ya Mezhdunarodnaya Krymskaya konferenciya "SVCh-texnika i telekommunikacionny'e texnologii", 2016. pp. 763 – 769.



9. Aksenov K.A., Nevolina A.L., Aksenova O.P., Kamel'skiy V.D. Razrabotka Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, № 1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y20131486.

10. Antonova A.S., Aksyonov K.A., Aksyonova O.P. Mathematics 2021, 9(17), 2098. URL: doi.org.ru/10.3390/math9172098.