

УДК 51-77:338.45

## ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Шиков П.А., Никитина Л.Н., Шиков Ю.А.

*ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет  
промышленных технологий и дизайна», Санкт-Петербург,*

*e-mail: pavel.shikov@mail.ru, kafedraekonomiki@yandex.ru, shikov.yuri@gmail.com*

В статье рассматривается применение сетевого планирования на предприятиях легкой промышленности, что является важным и результативным инструментом, обладающим рядом преимуществ по сравнению с другими методами планирования и управления. Использование сетевого моделирования в производственных процессах предприятий легкой промышленности способствует решению задач при учёте материальных, трудовых и других ресурсов. Отличительными особенностями процесса производства новых изделий на предприятиях легкой промышленности являются: высокая трудоёмкость, сложность взаимозаменяемости сотрудников, быстрая обновляемость ассортимента продукции и т.д. С учётом использования сетевого планирования перед руководством предприятия представляется последовательность выполняемых работ, необходимые сроки начала и окончания работ, параллельность некоторых производственных процессов, что позволяет провести анализ и значительно сократить весь цикл производства изделия за счёт обнаружения резервов и подключения производственного персонала в соответствии с занимаемой должностью и разрядом с одной работы на другую и, как следствие, улучшить ключевые показатели эффективности предприятия. Также в статье проводится анализ теоретических и практических направлений применения сетевого моделирования, на конкретном предприятии строится модель сетевого графика производства женского демисезонного пальто бригадой в составе 120 работников, в результате исследования изыскиваются резервы для сокращения критического пути и длительности производства изделия на 22 мин, что приводит к оптимизации производственных процессов и к улучшению эффективности функционирования предприятия ООО «Стиль».

**Ключевые слова:** импортозамещение, санкции, сетевое планирование, критический путь, оптимизация производственных процессов, выявление резервов, предприятия легкой промышленности, быстрая сменяемость ассортимента, производственный потенциал

## NETWORK MODELING USAGE IN THE PRODUCTION PROCESSES' OPTIMIZATION AT LIGHT INDUSTRY ENTERPRISES

Shikov P.A., Nikitina L.N., Shikov Yu.A.

*St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, St. Petersburg,*

*e-mail: pavel.shikov@mail.ru, kafedraekonomiki@yandex.ru, shikov.yuri@gmail.com*

The article discusses the use of network planning in light industry enterprises, which is an important and effective tool that has a number of advantages compared to other methods of planning and management. The use of network modeling in the production processes of light industry enterprises contributes to solving problems when taking into account material, labor and other resources. Distinctive features of the process of production of new products at light industry enterprises are: high labor intensity, complexity of interchangeability of employees, rapid renewal of the product range, etc. Taking into account the use of network planning, the management of the enterprise is presented with the sequence of work performed, the necessary dates for the start and end of work, the parallelism of some production processes, which makes it possible to analyze and significantly reduce the entire production cycle of the product by detecting reserves and connecting production personnel in accordance with the position held and discharge from one job to another and, as a result, improve the key performance indicators of the enterprise, the article also analyzes the theoretical and practical areas of application of network modeling, a model of a network schedule for the production of a women's demi-season coat by a team of 120 workers is built at a particular enterprise, as a result of the study reserves are being sought to reduce the critical path and produce a product duration of 22 minutes, which leads to the optimization of production processes and to an improvement in the efficiency of the operation. enterprise LLC "Style".

**Keywords:** import substitution, sanctions, network planning, critical path, optimization of production processes, identification of reserves, light industry enterprises, quick change of assortment, production potential

В условиях жёсткого санкционно-го давления и сворачивания налаженных бизнес-процессов западными партнёрами в России появляется необходимость замещать иностранные товары отечественными, что, несомненно, приведёт к росту производственного потенциала промышленных предприятий. Прежде всего, открываются новые перспективы для развития

предприятий легкой промышленности, так как её технологические особенности дают возможность быстро изменять ассортимент продукции при минимальных инвестициях, что обеспечивает высокую эффективность производственных процессов и быструю отдачу вложенных средств. Легкая промышленность играет важнейшую роль в современной экономике, первоочередной

задачей которой является обеспечение населения товарами промышленного и бытового потребления.

Развитие теоретических и практических направлений использования моделей сетевого планирования в производственных процессах промышленных предприятий способствует решению задач планирования и управления при учёте материальных, трудовых и других ресурсов. Производство новых изделий на предприятиях легкой промышленности отличается высокой трудоёмкостью, сложностью взаимозаменяемости работников, поэтому не всегда руководству предприятия удаётся достичь высоких экономических результатов в краткосрочной перспективе.

«Сетевое экономико-математическое моделирование планирования производства дает возможность определить все операции, необходимые для выполнения конкретного производственного заказа, их взаимозависимость, упорядоченную по времени последовательность их реализации, оптимальное время для исполнения заказа в целом, а также проанализировать возможные проблемы с выполнением заказа в полном объеме и в приемлемое время. Также сетевое моделирование позволяет оценить влияние альтернатив на сроки выполнения и финансовых результат в случае исполнения заказа» [1].

Математической основой сетевого планирования служит теория графов, которая получила активное развитие в 1930-е гг., т.е. задолго до появления сетевого планирования. Теория графов рассматривает процессы и явления окружающего мира в виде системы параметрических точек и стрелок, соединяющих их между собой. Таким образом, возможно представлять различные экономические явления или взаимоотношения между отраслями, предприятиями, подразделениями. Например, точки – мощности предприятия, стрелки – взаимосвязи, организация складского хозяйства – кружки, стрелки – возможные взаимосвязи складов в процессе размещения продукции.

Параметры, моделирующие системы или какой-либо процесс, рассматриваются в теории графов как некое множество. Последнее обозначают прописными буквами  $A, B, \dots, X, Z$ , а элементы этого множества – соответственно строчными буквами  $a, b, \dots, x, z$ . То обстоятельство, что множество  $A$  состоит из элементов  $a$ , записывают с помощью:  $a \in A$ .

Множество может иметь бесконечно большое число элементов (бесконечное множество), конечное число элементов (конечное множество) или вообще не иметь ни одного элемента (пустое множество) [2].

Некоторое множество  $B$ , полностью входящее в состав другого множества  $A$ , называется подмножеством и обозначается  $B \in A$ . Наконец, множества  $A$  и  $B$  называются совпадающими, если все элементы совпадают. В таком случае  $A = B$ . Элементы множества изображаются на плоскости в виде точек. Любые пары элементов этого множества, находящиеся между собой в определённых соотношениях, соединяются стрелками, носящими название ориентированных дуг. В результате получается граф. В каждом графе имеется не менее одной точки, в которую не входит ни одна дуга, некоторое количество точек. Первый тип точек называется входом, а второй – выходом графа. Конечный ориентированный граф, имеющий единственный вход и единственный выход, носит название сети.

Каждой точке графа соответствует определённое положительное число, называемое интенсивностью точек. Каждой дуге соответствует положительное число, именуемое длиной (или пропускной способностью) дуги.

Последовательность дуг, в которой конец предыдущей дуги совпадает с началом последующей, называется путём, причём длина пути складывается из суммы длин составляющих его дуг.

Одной из важнейших задач сети является задача определения критического пути.

Если обозначить через  $i$  и  $j$  два смежных события, причём  $j > i$ , то можно отметить:

$$P_{i-j}^n = t_j^n - (t_i^p + t_{i-j}). \quad (1)$$

Каждое из слагаемых этой зависимости можно выразить через продолжительность критического пути  $t_{кр}$ :

$$t_j^n = t_{кр} - t_{max}^{j-n}, \quad (2)$$

$$t_i^p = t_{max}^{0-i}. \quad (3)$$

Поскольку для работ критического пути  $P_{i-j}^n = 0$ , это можно записать следующим образом:

$$T_{кр} = t_{max}^{0-i} + t_{i-j} + t_{max}^{j-n}. \quad (4)$$

Из чего следует, что алгоритм нахождения критического пути состоит в отборе такой цепи работ и событий, при которой нарастание и максимизация результатов на каждом этапе расчётов [2].

Применение сетевого планирования на предприятиях легкой промышленности является важным и результативным инструментом, обладающим рядом преимуществ по сравнению с другими методами планирования и управления. Перед руководством предприятия и начальниками отделов чёт-

ко представляется последовательность выполняемых работ, необходимые сроки начала и окончания работ, параллельность некоторых производственных процессов, что позволяет провести анализ и значительно сократить весь цикл производства изделия за счёт обнаружения резервов и подключения производственного персонала в соответствии с занимаемой должностью и разрядом с одной работы на другую и, как следствие, улучшить ключевые показатели эффективности предприятия. «После получения производственного заказа для него формируется исходная информация, получаемая от технологов, нормировщиков, конструкторов. Для того чтобы построенные сетевые модели не навредили производству, а повысили его эффективность, важно, чтобы исполнители, получившие задания на разработку изделия, заполнили все массивы исходной информации корректно. Для построения сетевого графика необходимо объединить информацию в отдельную таблицу, выполнить процедуры разузлования, группировки и сортировки» [3].

Цель исследования – рассмотрение производственного процесса пошива женского демисезонного пальто на базе применения моделей сетевого планирования и предложение рекомендаций по оптимизации сетевого графа для повышения эффективности производственной деятельности предприятия ООО «Стиль».

Для построения сетевого графика используем основные правила и элементы построения сетевого планирования. Обработка исходной информации, построение, анализ и оптимизация сетевой модели планируемого объекта обуславливают наличие знания целей и методов оптимизации. Основные элементы сетевого графика:

1. Работы (процессы во времени, которые сопровождаются материальными и трудозатратами).

2. События (результаты выполняемых работ производственного процесса).

В табл. 1 представлены этапы технологического процесса пошива женского демисезонного пальто на предприятии ООО «Стиль», их продолжительность, количество исполнителей, расчёт критического пути, раннего начала работ, раннего окончания, раннего и позднего свершения, определение резервов. Для того чтобы сетевой график стал важным инструментом управления производственным процессом, необходимо выявить резервы времени, сделать перепланировку графика с учётом перераспределения ресурсов и изменения технологии производства и выводением на параллельные пути критических работ. «При таком подходе затраты производственных ресурсов на единицу продукции задаются во времени, т.е. по некоторым дискретным периодам, в сумме определяющим производственный цикл. Такой вектор затрат – агрегированную технологию – можно построить для производства каждой единицы продукции (каждого заказа) на основании сетевого графика» [4].

На конкретном примере рассматривается производство женского демисезонного пальто бригадой в составе 120 работников, за 118,95 мин осуществляется пошив 50 изделий следующих размеров – 42–48 (рисунок). Первые две технологические операции (работы) осуществляются в раскройном цехе закройщиками, далее заготовки передаются в швейный цех, и к работе подключается бригада швей 2–5 разрядов. Для проведения расчётов параметров модели сетевого графика воспользуемся следующими обозначениями в табл. 1.

Таблица 1

Условные обозначения сетевого графика пошива демисезонного пальто (формулы составлены по материалам [2])

Название показателя	Условное обозначение основных показателей
Ранний срок свершения события	$t_i^p = \max \{t_i^p + t_{i-j}\}$
Поздний срок свершения события	$t_i^n = \min \{t_i^n + t_{i-j}\}$
Резерв времени события	$P_i = t_i^n - t_i^p$
Ранний срок начала работы	$t_{i-j}^{p,h}$
Ранний срок окончания работы	$t_{i-j}^{p,o} = t_{i-j}^{p,h} + t_{i-j}$
Поздний срок начала работы	$t_{i-j}^{n,h} = t_{i-j}^{n,o} - t_{i-j}$
Поздний срок окончания работы	$t_{i-j}^{n,o}$
Полный резерв времени работы	$P_{i-j}^n = t_j^n - (t_i^p + t_{i-j})$
Свободный резерв времени работы	$P_{i-j}^c = (t_j^p - t_i^n) - t_{i-j}$
Частный резерв времени работы	$P_{i-j}^n = t_j^n - t_i^n - t_{i-j}$

Таблица 2

Исходные данные и параметры расчёта сетевого графика производственного процесса пошива демисезонного пальто

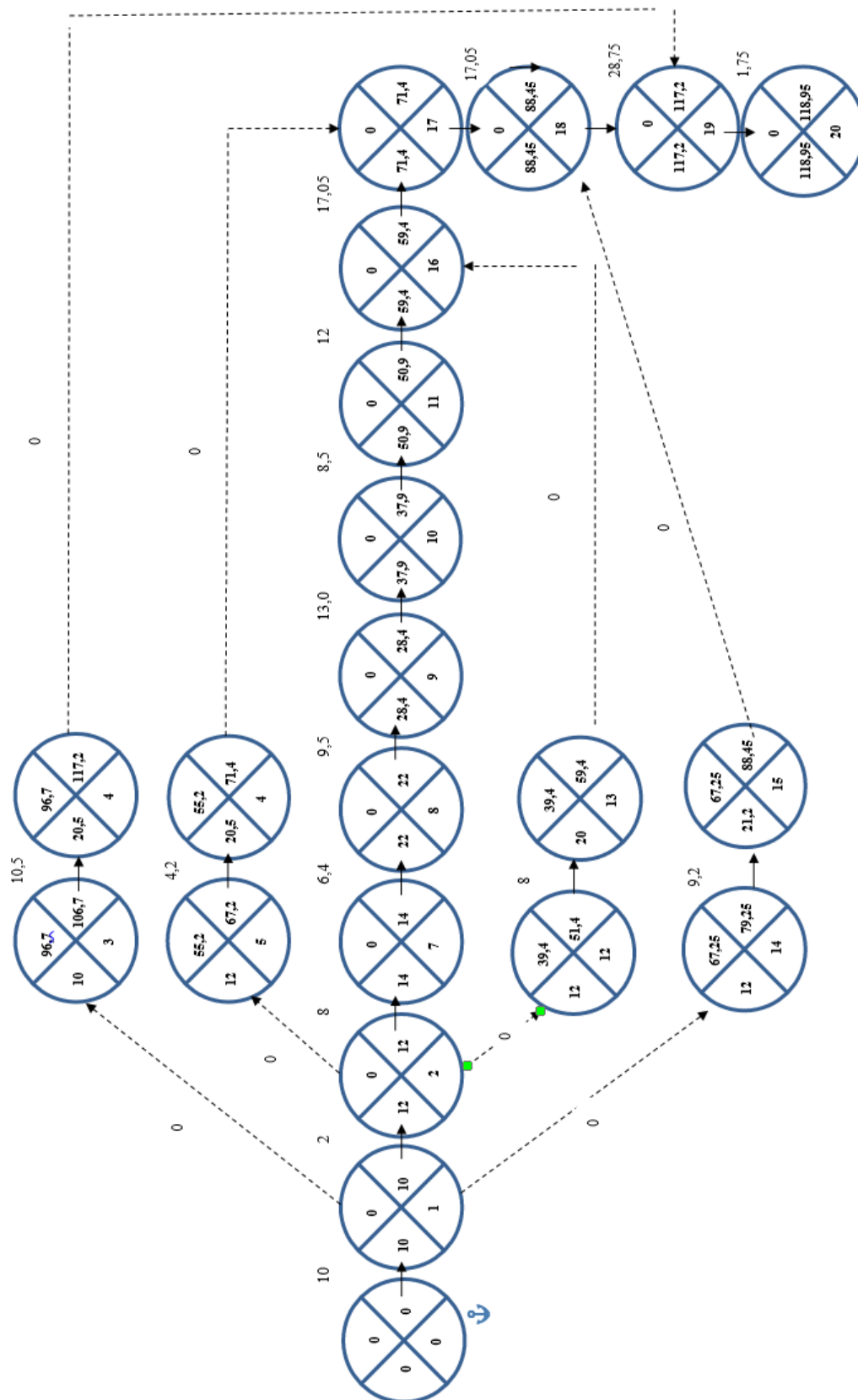
№	Этап	Количество работников	Возможность совмещения технологических операций	Трудоемкость в часах	Раннее свершение	Позднее свершение	Резерв времени события	Раннее начало работ	Раннее окончание работ	Позднее начало работ	Позднее окончание работ	Полный резерв	Свободный резерв	Частный резерв
0-1	Раскрой деталей	1 закройщик	0	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,00	0,00	10,00	0,00	0,00	0,00
1-2	Дублирование деталей кроя	1 закройщик	0	2,00	10,00	10,00	0,00	10,00	12,00	10,00	12,00	0,00	0,00	0,00
1-3	Фиктивная работа, до начала работы 3-4 полушить результаты работы 0-1	0	0	0	10,00	106,70	96,70	10,00	106,70	106,70	106,70	96,70	0,00	96,70
3-4	Обработка подкладки	12 швей низкой квалификации (2 разряд)	0	10,5	20,50	117,20	96,70	10,00	20,50	106,70	117,20	96,70	-65,95	0,00
2-5	Фиктивная работа, до начала работы 5-6 полушить результаты работы 1-2	0	0	0	12,00	67,20	55,20	12,00	12,00	67,20	67,20	55,20	0,00	55,20
5-6	Обработка воротника	7 швей (2-4 разряд)	могут подключиться к работам 8-9, 7-8, 17-18, 18-19)	4,2	16,20	71,40	55,20	12,00	16,20	67,20	71,40	55,20	-41,28	0,00
2-7	Транспортировка деталей из раскройного цеха в швейный	1 грузчик	0	2	14,00	14,00	0,00	12,00	14,00	12,00	14,00	0,00	0,00	0,00
7-8	Обработка клапана	7 швей (3, 4 разряд)	0	8	22,00	22,00	0,00	14,00	22,00	14,00	22,00	0,00	0,00	0,00
8-9	Обработка полочки	4 швей (3 разряд)	0	6,4	28,40	28,40	0,00	22,00	28,40	22,00	28,40	0,00	0,00	0,00

Продолжение табл. 2

№	Этап	Количество работников	Возможность совмещения технологических операций	Трудоемкость в часах	Раннее свершение	Позднее свершение	Резерв времени события	Раннее начало работ	Раннее окончание работ	Позднее начало работ	Позднее окончание работ	Полный резерв	Свободный резерв	Частный резерв
9-10	Обработка карманов	10 швей (2, 3 разряд)	0	9,5	37,90	37,90	0,00	28,40	37,90	28,40	37,90	0,00	0,00	0,00
10-11	Обработка потайной застёжки	12 швей (2-4 разряд)	0	13	50,90	50,90	0,00	37,90	50,90	37,90	50,90	0,00	0,00	0,00
2-12	Фиктивная работа, до начала работы 12-13 почитать результаты работы 1-2	0	0	0	12,00	51,40	39,40	12,00	12,00	51,40	51,40	39,40	0,00	39,40
12-13	Обработка спинки	6 швей (3 разряд)	могут подключиться к работам 16-17, 17-18, 18-19)	8	20,00	59,40	39,40	12,00	20,00	51,40	59,40	39,40	-28,90	0,00
2-14	Фиктивная работа, до начала работы 14-15 почитать результаты работы 1-2	0		0	12,00	79,25	67,25	12,00	12,00	79,25	79,25	67,25	0,00	67,25
14-15	Обработка рукавов	9 швей (3 разряд)	могут подключиться к работам 16-17, 17-18, 18-19)	9,2	21,20	88,45	67,25	12,00	21,20	79,25	88,45	67,25	-48,20	0,00
11-16	Соединение спинки с полочкой	13 швей (2, 3 разряд)	0	8,5	59,40	59,40	0,00	50,90	59,40	50,90	59,40	0,00	-28,90	0,00
13-16	Фиктивная работа, до начала работы 16-17 почитать результаты работы 11-16	0	0	0	20,00	20,00	0,00	20,00	20,00	59,40	59,40	39,40	0,00	0,00

Окончание табл. 2

№	Этап	Количество работников	Возможность совмещения технологических операций	Трудоемкость в часах	Раннее свершение	Позднее свершение	Резерв времени события	Раннее начало работ	Раннее окончание работ	Позднее начало работ	Позднее окончание работ	Полный резерв	Свободный резерв	Частный резерв
6-17	Фиктивная работа, до начала работы 17-18 поучить результаты работы 5-6	0	0	0	16,20	16,20	0,00	16,20	16,20	71,40	71,40	55,20	0,00	0,00
16-17	Соединение воротника с изделием	9	0	12	71,40	71,40	0,00	59,40	71,40	59,40	71,40	0,00	0,00	0,00
15-18	Фиктивная работа, до начала работы 18-19 поучить результаты работы 14-15	0	0	0	21,20	21,20	0,00	21,20	21,20	88,45	88,45	67,25	0,00	0,00
17-18	Соединение рукавов с изделием	11 швей (3-5 разряд)	0	17,05	88,45	88,45	0,00	71,40	88,45	71,40	88,45	0,00	0,00	0,00
4-19	Фиктивная работа, до начала работы 19-20 поучить результаты работы 3-4	0	0	0	20,50	117,20	96,70	20,50	20,50	117,20	117,20	96,70	0,00	0,00
18-19	Соединение изделия с подкладкой	15 швей (3, 4 разряд)	0	28,75	117,20	117,20	0,00	88,45	117,20	88,45	117,20	0,00	0,00	0,00
19-20	ОТК	1 маркировщик, 1 фасовщик	0	1,75	118,95	118,95	0,00	117,20	118,95	117,20	118,95	-120,70	0,00	0,00



Сетевой граф производственного процесса пошива женского демисезонного пальто

### Заключение

Результаты расчёта параметров сетевого графика представлены в табл. 2 и на графике (рисунок). Самый длительный по времени критический путь характеризуется работами с нулевым резервом, он определится выполнением работ 0–1, 1–2, 2–7, 7–8, 8–9, 9–10, 10–11, 11–16, 16–17, 17–18, 18–19, 19–20. При существующей организации работ по производству демисезонного женского пальто критический путь составил 118,95 мин. Согласно программе руководства по оптимизации производственных процессов следует изыскать резервы и сократить длительность пошива изделия на 22 мин с целью улучшения эффективности и увеличения загрузки производственных мощностей предприятия.

В результате изучения работ, лежащих на критическом пути, находим, что возможно сократить продолжительность работы 17–18 на 10 мин, благодаря подключению 2 швей с участков выполняемых работ 5–6 и 2 швей с работы 12–13, также возможно уменьшить время на выполнение работы 18–19 на 12 мин, увеличив количество швей за счёт выявления резервов и высвобождения 4 швей с работы 14–15. Перепланировка сетевого графика позволяет проводить работы по пошиву женского демисезонного пальто за 96,95 мин.

Безусловно, такие расчеты и анализ производственных работ достаточно трудоем-

ки. Требуется автоматизация и разработка соответствующего программного обеспечения для оперативного использования сетевых технологий при оптимизации выполнения работ технологических операций. «Таким образом, можно сделать вывод, что актуальной является задача разработки моделей, алгоритмов, методов и программных средств автоматизированного планирования и оперативно-диспетчерского управления в условиях применения многофункционального оборудования в мелкосерийном многономенклатурном производстве» [5].

### Список литературы

1. Сесекин Н.А. Сетевое экономико-математическое моделирование оптимизации мелкосерийного производства на предприятии // Вестник ПГГПУ. Серия № 3. Гуманитарные и общественные науки. 2016. № 1. С. 51–55.
2. Бездудный Ф.Ф., Шапиро Е.С., Андреев П.Я. Сетевые методы планирования и управления в текстильной и легкой промышленности. М.: Легкая индустрия, 1969. 180 с.
3. Капулин Д.В., Винниченко М.В., Винниченко Д.И. Автоматизация планирования мелкосерийного производства сетевыми методами // Прикладная информатика. 2016. Т. 11. № 6 (66). С. 6–18.
4. Титов В.В., Безмельничин Д.А. Интеграция стратегического планирования и операционной деятельности на предприятии на основе оптимизационного моделирования // Вестник НГУ. Серия: Социально-экономические науки. 2015. № 1. С. 123–130.
5. Исаков И.Н. Особенности оперативного планирования в условиях мелкосерийного многономенклатурного производства, оснащенного многофункциональным оборудованием // Известия ТулГУ. Технические науки. 2017. № 8–2. С. 292–297.