

## Сетевая модель комплекса работ по технической подготовке производства нового изделия как способ повышения качества

Юлия Ю. Левштанова<sup>1</sup>    inboxjulia@bk.ru  
Ильдар И. Хафизов<sup>1</sup>    khafizov@kpfu.ru

<sup>1</sup> Казанский (Приволжский) Федеральный университет, ул. Сайдашева, 12, г. Казань, 420021, Россия

**Реферат.** В работе рассмотрен алгоритм построения сетевой модели для заданного комплекса работ. Приведенная модель строится одновременно на базе двух независимых друг от друга методов: методе критического пути, методе оценки и пересмотра планов. Применение этих методов позволило решить сразу две задачи – сократить продолжительность выполнимости рабочих операций на критическом и всех полных путях, а также поддержать на нормативном уровне качество выпускаемой продукции. На примере реального проекта по организации производства хвостового оперения самолета, состоящего из сложных взаимосвязанных операций, сформирована модель, направленная на сокращение не только общей продолжительности проекта, но и ранних и поздних сроков завершения событий. Сетевое моделирование комплекса работ по подготовке производства выпуска нового изделия позволило за минимальный промежуток времени спланировать календарный план выполнения комплекса предстоящих работ; наглядно показать те резервы времени на каждом построенном пути, которые способны максимально эффективно мобилизовать не только материальные ресурсы, но и человеческие. Выявлены возможные отклонения при реализации комплекса работ по всем возможным путям, что снизит риск срыва сроков выполнимости проекта. Построив последовательную логическую цепочку всех операций производственного процесса, и, используя дифференцированный подход при распределении ответственности между всеми участниками (отдельно по каждой отдельной операции), удалось существенным образом повлиять на эффективность управления в целом по проекту. Сетевое моделирование как один из методов анализа ранних и поздних сроков начала и завершения операций по комплексу работ позволило наглядно представить алгоритм реализации каждого этапа и каждой операции во времени, получив в завершение прогнозную продолжительность реализации проекта.

**Ключевые слова:** сетевой график, метод критического пути, метод оценки и пересмотра планов, директивный срок, резерв времени, ранний срок, поздний срок

## Network model of the complex of works on technical training of production of the new product as way of improvement of quality

Yulia Yu. Levshstanova<sup>1</sup>    inboxjulia@bk.ru  
Ildar I. Khafizov<sup>1</sup>    khafizov@kpfu.ru

<sup>1</sup> Kazan (Volga) Federal University, Saydashev st., 12, Kazan, 420021, Russia

**Summary.** In work the algorithm of creation of network model for the set complex of works is considered. The given model is under construction at the same time on the basis of two methods independent from each other: method of a critical way, method of an assessment and revision of plans. Application of these methods has allowed to solve at once two problems – to reduce duration of feasibility of working operations on critical and all full ways, and also to maintain quality of products at the standard level. On the example of the real project on the organization of production of tail plumage of the plane, consisting of the difficult interconnected operations, the model directed to reduction not only the general duration of the project, but also an early and late date of completion of events is created. Network modeling of a complex of works on preparation of production of release of a new product has allowed to plan the planned schedule of performance of a complex of the forthcoming works for the minimum period; to demonstrate those reserves of time on each constructed way which are capable to mobilize most effectively not only material resources, but also human. Possible deviations at realization of a complex of works on all possible ways are revealed that will reduce risk of failure to meet time constraints of feasibility of the project. Having constructed a consecutive logical chain of all operations of production, and, thereby, having used the differentiated approach at distribution of responsibility between all participants (separately on each separate operation), it was succeeded to affect essentially management efficiency in general on the project. Network modeling as one of methods of the analysis of early and late terms of the beginning and completion of operations on a complex of works has allowed to present visually an algorithm of realization of each stage and each operation in time, having received the expected duration of implementation of the project in end.

**Keywords:** network schedule, critical way, CHM (critical path method), PERT (program evaluation and review technique), directive term, full reserve of time, early term, late term

### Введение

Сегодня невозможно занять стабильную нишу на рынке, если производители не ориентируются на колебания на внешнем и внутреннем рынках; не ведут гибкую ценовую политику; не используют в своей практике ежедневный

мониторинг, научно обоснованное планирование и прогнозирование. В таком случае, также нельзя говорить и о том должном качестве выпускаемой продукции, которое заинтересовало бы потенциального потребителя, заказчика или инвестора. Промышленный сектор производства должен всегда гибко реагировать

Для цитирования

Левштанова Ю.Ю., Хафизов И.И. Сетевая модель комплекса работ по технической подготовке производства нового изделия как способ повышения качества // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 2. С. 372–379. doi:10.20914/2310-1202-2017-2-372-379

For citation

Levshstanova Y. Y., Khafizov I. I. Network model of the complex of works on technical training of production of the new product as way of improvement of quality. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2017. vol. 79. no. 2. pp. 372–379. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2017-2-372-379

на любые изменения на рынке, непрерывно проводить автоматизацию производственных процессов, сокращать продолжительности рабочих циклов, использовать в своей практике современные методы планирования и прогнозирования производственных процессов [4].

Существенное место в правильном обосновании планов повышения качества играет использование данных о результатах эксплуатации продукции, обобщение и анализ информации о фактическом уровне ее качества. На примере рассмотрим реальный проект по производству хвостового оперения самолета, который представляет собой сложную совокупность взаимосвязанных процессов [9]. Поэтому сокращение цикла операций на этапе рабочего планирования происходит последовательно, то есть без детальной проработки предшествующей операции невозможно переходить на следующий этап. Используемый метод графически представлен на построенной сетевой модели комплекса работ по подготовке производства нового изделия (рисунок 1) [3].

Когда основная задача прогнозирования сосредоточена непосредственно на том, чтобы максимально сократить продолжительность критического пути, который определяет время завершения проекта, отдельно определяется средняя ценность для каждой продолжительности проекта. Как правило, ценность – сумма прямых и косвенных издержек. Но косвенные издержки на протяжении всего процесса реализации проекта включаются в стоимость проекта, тем самым увеличивая его себестоимость. Поэтому этот вид издержек необходимо максимально сокращать на каждом этапе проекта. Что касается прямых издержек по производству нового изделия, то они, напротив, увеличиваются по мере того, как продолжительность реализации проекта растет. Поэтому сравнение их с плановыми показателями (для определения общей продолжительности стартовой модели) не вполне обоснованно [7].

На практике способов сокращения общей продолжительности критического пути не так много. Поэтому, часто применяют альтернативный способ, который одновременно способствует и сокращению продолжительности выполнения рабочих операций непосредственно на критическом пути и снижению качества выпускаемой продукции. Для того чтобы решить обе эти задачи в рамках реализуемого проекта и поддержания качества продукции на уровне стандартов более подробно рассмотрим алгоритм формирования сетевой модели как способ

последовательного математического моделирования, прогнозирования и построения алгоритма управления полным комплексом работ по технической подготовке производства нового изделия.

Представленная сетевая модель формировалась на базе двух методов, независимых друг от друга: методе оценки пересмотра планов – PERT (Program Evaluation and Technique) и методе критического пути – CPM (Critical Path Method) [11].

Сетевое моделирование комплекса работ по подготовке производства выпуска нового изделия позволило за минимальный промежуток времени спланировать календарный план выполнения комплекса предстоящих работ; наглядно показать те резервы времени на каждом построенном пути, которые способны максимально эффективно мобилизовать не только материальные ресурсы, но и человеческие.

Выявлены возможные отклонения при реализации комплекса работ по всем возможным путям, что снизит риск срыва сроков выполнимости проекта. Построив последовательную логическую цепочку всех операций производственного процесса, и, тем самым, используя дифференцированный подход при распределении ответственности между всеми участниками (отдельно по каждой отдельной операции), удалось существенным образом повлиять на эффективность управления в целом по проекту [1].

Удалось с высокой степенью эффективности детализировать весь комплекс работ, выявить сущность на проблемы и причины ее возникновения, а также проанализирована взаимосвязь между операциями (главным образом, на критическом пути), поскольку именно при построении сетевой модели за основу берется научно обоснованное отражение всех зависимостей между операциями [14–15]. Только построив критический путь можно говорить о том, каким образом каждая операция, входящая в него, повлияет на общую продолжительность проекта и как лучше построить план работ, не изменяя при этом сроки выполнимости проекта и выйдя на минимальную себестоимость.

Таким образом, сетевое моделирование как один из методов анализа ранних и поздних сроков начала и завершения операций по комплексу работ позволило наглядно представить алгоритм реализации каждого этапа и каждой операции во времени, получив в завершение прогнозную продолжительность реализации проекта.

Как в процессе построения сетевого графика, так и на момент его непосредственного применения на производственной площадке, в него вносились корректировки посредством улучшения производственных операций и по ресурсам, и по времени. Если же график не соответствовал прогнозируемому плану выполнения операций в пределах установленных временных рамок, то корректировалась продолжительность критического пути одним из двух путей: либо за счет резервов времени не критических работ и соответствующего перераспределения ресурсов, либо за счет изменения последовательности выполнения операций и взаимосвязи работ.

На сетевой график (рисунок 1) нанесены работы и события [2]. События обозначаются кружками, работы – стрелками, показывающими связь между событиями. Продолжительность работы измеряется количеством дней, наносимых над стрелкой. Все работы в графике ведут к конечному событию – цели планирования. Жирной линией отмечены события, не имеющие резервов времени, то есть критический путь.

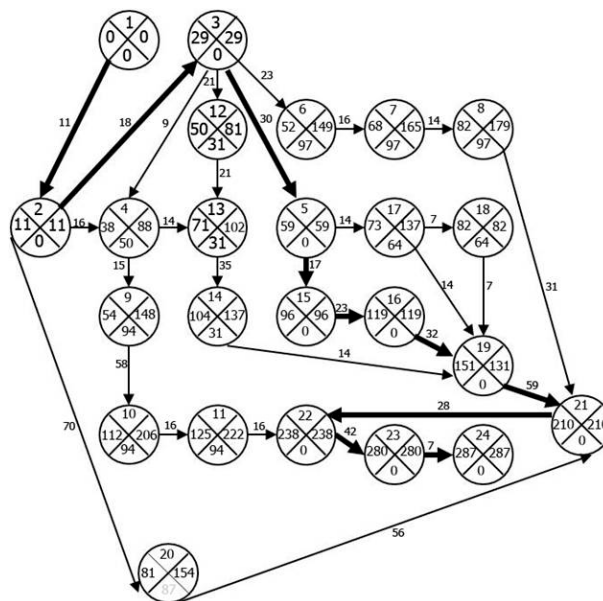


Рисунок 1. Сетевой график комплекса работ по подготовке производства нового изделия  
Figure 1. Network schedule of a complex of works on preparation of production of a new product

Комплекс работ по технической подготовке производства нового изделия  
Table 1.

Complex of works on technical training of production of a new product

№	Наименование работы Name of work	Код работы Work code	Продолжительность в днях Duration in days
1	Получение от разработчика конструкторских чертежей и технические условия на изделие Receiving from the developer of design drawings and specifications on a product	1,2	11
2	Обработка конструкторских чертежей и технические условия Processing of design drawings and specifications	2,3	18
3	Определение номенклатуры испытательного оборудования на изделие, составление спецификации на комплектующие приборы для испытательного оборудования Definition of the nomenclature of the test equipment on a product, drawing up specifics on the completing devices for the test equipment	2,4	16
4	Определение номенклатуры и количества технологического оборудования Definition of the nomenclature and number of processing equipment	3,4	9
5	Составление заявок на комплектующие приборы, материалы для оборудования и передача их в отдел материально-технического снабжения, отдел кооперированных поставок Drawing up applications for the completing devices, materials for the equipment and their transfer to department of logistics, department of the cooperated deliveries	4,9	16
6	Обработка технологической документации Processing of technological documentation	3,5	30
7	Разработка предварительных норм расхода материалов Development of preliminary consumption rates of materials	5,15	37
8	Заключение договоров, передача заводам-изготовителям комплектующих приборов The conclusion of contracts, transfer to manufacturers of the completing devices	9,10	58
9	Заключение договоров на поставку материалов Conclusion of contracts for supply of materials	15,16	23
10	Поставка материалов на изделие Supply of materials to a product	16,19	32
11	Изготовление испытательного стенда Production of the test bench	10,11	16
12	Настройка испытательного стенда Setup of the test bench	11,22	16
13	Проектирование оснастки Design of the equipment	3,6	23
14	Разработка технологии изготовления оснастки Development of manufacturing techniques of the equipment	6,7	16
15	Изготовление, испытание и сдача оснастки изготовителю Production, test and delivery of the equipment to the procuring shop	7,8	14

16	Изготовление, испытание и сдача оснастки сборочному цеху Production, test and delivery of the equipment to the assembly shop	8,21	31
17	Получение от разработчика деталей и узлов на установленную партию деталей Receiving from the developer of details and knots on the established kit of parts	2,20	70
18	Определение ведущих профессий и обучение кадров Definition of the leading professions and personnel training	20,21	56
19	Разработка принципиальной электротехнической схемы на специальное оборудование Development of the schematic electrotechnical diagram on the special equipment	3,12	21
20	Проектирование специального оборудования Design of the special equipment	12,13	21
21	Изготовление специального оборудования Production of the special equipment	13,14	35
22	Составление планировки расположения оборудования Drawing up planning of an arrangement of the equipment	4,13	14
23	Установка оборудования Installation of the equipment	14,19	14
24	Разработка норм расхода материалов на изделие и передача их в ПДО (планово-диспетчерский отдел) Development of consumption rates of materials on a product and their transfer to planned and dispatching department	5,17	14
25	Составление в комплектующей ведомости готовых деталей, входящих в изделие Drawing up in the completing sheet of the ready details entering a product	17,18	7
26	Выдача сборочному цеху готовых деталей на изделие Delivery to the assembly shop of ready details on a product	18,19	7
27	Определение в ПДО номенклатуры и количества деталей, входящих в изделие, и выдача производственных заданий цехам Definition in planned and dispatching department of the nomenclature and quantity of the details entering a product and delivery of production targets to shops	17,19	14
28	Изготовление опытной партии деталей и узлов и сдача их сборочному цеху Production of pilot batch of details and knots and delivery to their assembly shop	19,21	59
29	Освоение производства изделий изготовление и сдача отделу технического контроля установленной партии Development of production of products production and delivery to department of technical control of the established party	21,22	28
30	Контрольное испытание новых изделий Control test of new products	22,23	42
31	Упаковка и сдача изделий на склад Packing and delivery of products on a warehouse	23,24	7

Таким образом, директивный срок выполнения всего комплекса работ составил 298 дней.

Критический путь проходит через цепочку событий и работ под номерами 1–2–3–5–15–16–19–21–22–23–24, и равен 287 дням.

Минимальный срок, необходимый для выполнения всех работ, предшествующих событию, равен продолжительности наибольшего из путей, ведущих от исходного события 1 к данному – ранний срок наступления событий ( $T_{pi}$ ).

Ранние сроки выполнения событий:

$$T_{pi} = t_{o-i} (\max t_{o-i})$$

где  $\max t_{o-i}$  – максимальное время выполнения всех работ, ведущих к данному событию [5].

Поздний срок свершения событий определяется разностью между продолжительностью критического пути и максимальной длительностью следующих за данным событием путей к завершающему по следующей формуле:

$$T_{ne} = L_{kp} - t_{i-c} (\max t_{i-c})$$

где  $L_{kp}$  – продолжительность критического пути;  $\max t_{i-c}$  – максимальная длительность пути от начального события до завершающего [12].

Критический путь – путь, который соединяет события с нулевым резервом времени и соответствует максимальной продолжительности последовательных работ ( $L_{kp}$ ).

Резерв времени образуется у тех событий, для которых поздний срок свершения больше раннего, и он равен их разности:

$$R_{(i)} = t_n(i) - t_p(i).$$

Результаты расчетов ранних и поздних сроков наступления событий, резервов времени по формулам для сетевого графика, занесены в таблицу 2.

Результаты расчетов ранних и поздних сроков наступления событий, резервов времени

Results of calculations of early and late terms of approach of events, time reserves

Код работы Work code	Продолжительность события Event duration	№ события Number of an event	Ранний срок наступления события Early term of approach of an event	Поздний срок наступления события Late term of approach of an event	Резерв времени Float time
1,2	11	1	11	11	0
2,3	18	2	29	29	0
2,4	16	3	27	88	61
3,4	9	4	38	88	50
4,9	16	5	54	148	94
3,5	30	6	59	59	0
5,15	37	7	96	96	0
9,10	58	8	112	206	94
15,16	23	9	119	119	0
16,19	32	10	151	151	0
10,11	16	11	128	222	94
11,22	16	12	238	238	0
3,6	23	13	52	149	97
6,7	16	14	68	165	97
7,8	14	15	82	179	97
8,21	31	16	210	210	0
2,20	70	17	81	154	73
20,21	56	18	210	210	0
3,12	21	19	50	81	31
12,13	21	20	71	102	31
13,14	35	21	106	137	31
4,13	14	22	71	102	31
14,19	14	23	151	151	0
5,17	14	24	73	137	64
17,18	7	25	80	144	64
18,19	7	26	151	151	0
17,19	14	27	151	151	0
19,21	59	28	210	210	0
21,22	28	29	238	238	0
22,23	42	30	280	280	0
23,24	7	31	287	287	0

Зная ранние и поздние сроки наступления операций (событий), можно определить ранние и поздние сроки начала и окончания каждой из них [6]. Ранний срок начала совпадает с ранним сроком свершения ее начального события. При этом, ранний срок окончания работы можно получить, если сложить ранний срок начальной операции и ожидаемую продолжительность. Поздний срок есть разница между поздним сроком свершения конечной операции и ее ожидаемой продолжительностью. Как правило, поздний срок окончания операции совпадает с поздним сроком свершения последующего события. Те операции, которые не лежат на критическом пути, обладают определенными резервами времени. То максимальное количество времени, на которое можно увеличить продолжительность этой операции, не изменяя при этом общей продолжительности критического пути, есть полный резерв времени работы:

$$R_{ij} = T_j - T_{pi} - t_{ij}$$

Между тем, то максимальное количество времени, на которое можно увеличить продолжительность выполнения операции или на какое-то время отложить ее начало, не изменяя при этом ранних сроков начала последующих операций при условии, что начальное событие этой операции наступило в свой ранний срок, есть свободный резерв:

$$R_{ij} = T_{pi} - T_{pi} - t_{ij}$$

Результаты расчета параметров работ сетевого графика приведены в таблице 3.

В построенном сетевого графике имеются пути, опирающиеся на исходное и завершающее событие. Определим число путей в этой модели (таблица 4).

Таблица 3.

Результаты расчета параметров работ сетевого графика

Table 3.

Results of calculation of parameters of works of the network

Код работы Work code	Продолжительность Event	Ранний срок начала Early term of the beginning	Поздний срок начала Late starting date	Ранний срок завершения Early deadline	Поздний срок завершения Late term of end	Полный резерв времени Full reserve of time	Свободный резерв времени Free reserve of time	Коэффициент напряженности Tension coefficient
1,2	11	0	0	11	11	0	0	1
2,3	18	11	1	29	29	0	0	1
2,4	16	11	2	27	88	1	11	0,79
3,4	9	29	9	38	88	0	0	0,825
4,9	16	38	32	54	148	4	0	0,672
3,5	30	29	9	59	59	0	0	1
5,15	37	59	9	96	96	0	0	1
9,10	58	54	148	112	206	4	0	0,672
15,16	23	96	96	119	119	0	0	1
16,19	32	119	119	151	151	0	0	1
10,11	16	112	206	128	222	94	0	0,672
11,22	16	128	222	144	238	94	0	0,672
3,6	23	29	126	52	149	97	0	0,672
6,7	16	52	149	68	165	97	0	0,672
7,8	14	68	165	82	179	97	0	0,672
8,21	31	82	179	113	210	97	0	0,662
2,20	70	11	84	81	154	73	0	0,745
20,21	56	81	154	137	210	73	0	0,745
3,12	21	29	60	50	81	31	0	0,891
12,13	21	50	81	71	102	31	0	0,891
13,14	35	71	102	106	137	31	0	0,891
4,13	14	38	88	52	102	50	0	0,825
14,19	14	106	137	120	151	31	0	0,891
5,17	14	59	123	73	137	64	0	0,777
17,18	7	73	137	80	144	64	0	0,777
18,19	7	80	144	87	151	64	0	0,777
17,19	14	73	137	87	151	64	0	0,777
19,21	59	151	151	210	210	0	0	1
21,22	28	210	210	238	238	0	0	1
22,23	42	238	238	280	280	0	0	1
23,24	7	280	287	287	287	0	0	1

Таблица 4.

Расчет количества путей в сетевой модели

Table 4.

Calculation of quantity of ways in network model

№ пути Track number	Номера событий, по которым проходит путь Numbers of events according to which there passes the way	Продолжительность пути Duration of a way	Полный резерв времени Full reserve of time
1	1, 2, 3, 4, 9, 10, 11, 22, 23, 24	193	105
2	1, 2, 20, 21, 22, 23, 24	214	84
3	1, 2, 4, 13, 14, 19, 21, 22, 23, 24	227	71
4	1, 2, 4, 9, 10, 11, 22, 23, 24	182	116
5	1, 2, 4, 13, 14, 19, 21, 22, 23, 24	237	61
6	1, 2, 3, 12, 13, 14, 19, 21, 22, 23, 24	256	42
7	1, 2, 3, 5, 15, 15, 19, 21, 22, 23, 24	287	11
8	1, 2, 3, 5, 17, 19, 21, 22, 23, 24	223	75
9	1, 2, 3, 5, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24	223	75
10	1, 2, 3, 6, 7, 8, 21, 22, 23, 24	190	108

Таким образом, в сетевом графике (рисунок 1) 10 путей.

Проведем анализ сетевого графика на основе рассчитанных выше временных характеристик [5].

Прежде всего, проверим, не превышает ли длина критического пути продолжительность заданного директивного срока. Если это так,

то необходимо принять меры по уплотнению графика работ. В рассматриваемом случае директивный срок выполнения равен 298 дням, а продолжительность критического пути – 287 дням, то есть, не превышает директивного срока. График приемлемый. Но возможен дальнейший анализ и оптимизация комплекса работ.

Коэффициент сложности сетевого графика равен отношению количества работ к количеству событий (0,7).

Оптимальная продолжительность времени выполнения работ всего комплекса по сетевому графику соответствует среднему значению продолжительности его путей, то есть составляет 223 дня.

Расчет коэффициентов напряженности показал степень близости пути к критическому. Чем выше коэффициент напряженности, тем ближе путь к критическому и наоборот, чем меньше коэффициент напряженности, тем большими резервами обладает путь [10, 13].

В зависимости от коэффициента напряженности все работы попадают в одну из трех зон напряженности: критическую ( $K_n > 0,8$ ), промежуточную ( $0,5 < K_n < 0,8$ ), резервную ( $K_n < 0,5$ ).

### Заключение

В результате выполненной работы был построен и проанализирован сетевой график (рисунок 1). Для этой сетевой модели определены: количество путей; наличие и продолжительность критического и полных путей; ранние и поздние

сроки начала и завершения событий; определены полные свободные резервы времени. Наличие положительного резерва указывает на возможность опережения утвержденного календарного графика. Наличие нулевого резерва указывает на возможность осуществления проекта точно по календарному графику.

Построение сетевой модели, как метод сетевого планирования управления производственными процессами, комплекса работ по подготовке производства нового изделия способствовало сокращению сроков выпуска продукции на 15–20%, повышению качества и эффективности управления сложными комплексами работ, обеспечению рационального использования трудовых ресурсов и техники, увидеть взаимосвязь задач проекта и выявить критически аспекты планируемых работ. Кроме того, важным преимуществом сетевой модели стала возможность представить влияние той или иной задачи на ход выполнения последующих задач, что важно для контроля работ проекта.

### ЛИТЕРАТУРА

1 Бенко К., Мак-Фарлан Уоррен Ф. Управление портфелями проектов. Соответствие проектов стратегическим целям компании, М.: Вильямс, 2014. С. 48–49.

2 Кудрявцев Е.М. Методы сетевого планирования и управления проектом, М.: ДМК Пресс, 2008. 240 с.

3 Khafizov I.I. Economic efficiency and effectiveness of ways of separating materials electro diamond processing. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, № 1, Art. № 012014, 2016. Vol 134.

4 Левштанова Ю.Ю. Анализ методов планирования и управления производством // Экономика и управление: анализ тенденций и перспектив развития. 2014. С. 125.

5 Новицкий Н.И. Сетевое планирование и управление производством, М., 2009. 159 с.

6 Похабов В.И., Попова Н.Д. Экономико-математические методы и модели. Практикум. В 2 ч. Ч. 2., Минск, 2009. С. 12-23.

7 Трусова Л.И., Богданов В.В., Щепочкин В.А. Организация производства и менеджмент в машиностроении, Ульяновск, 2009. 406 с.

8 Туровец О.Г., Бухалков М.И., Родионов В.Б. Организация производства и управление предприятием, М: ИНФА-М, 2009. 544 с.

9 Хафизов И.И., Закирова А.Р., Садыков З.Б., конференции Современные технологии и материалы – ключевое звено в возрождении отечественного авиастроения // Материалы Международной научно-практической конференции. 2010. Т. 2. Казань. С. 228–229.

10 Ципес Г.Л., Товб А.С. Проекты и управление проектами в современной компании, М: Олимп-Бизнес, 2009. С. 51-57.

11 Enlow H. Planning R and D Projects Using GERT. Arizona State University, Erno-Kjoholde E., Project Management // Theory and Management of Research Projects. MPP Working Paper3, 2000. С. 37.

12 Alexandor K., Soldatos J. Linear versus Network Scheduling: A Critical Path Comparison // Journal of Construction Engineering and Management. 2007, Т. 133, № 7, С. 483. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2007)133:7(483).

13 Kastor A., Sirakoulis K. The effectiveness of resource leveling tools for Resource Constraint Project Scheduling Problem. International Journal of Project Management. 2009, Т. 27(5), С. 493-500. DOI:10.1057/jors.2009.9

14 Pritsker A., Alan B. GERT: Graphical Evaluation and Review Technique, Memorandum RM-4973 NASA. The Corporation. Santa Monica (California).

15 Seon-Gyoo Kim. CPM Schedule Summarizing of the Beeline Diagramming Method. Journal of Asian Architecture and Building Engineering. 2012, vol. 11, 2012, № 2, С. 367-374. DOI: 10.3130/jaabe.11.367.

### REFERENCES

1 Benko K., Mak-Farlan Uorren F. Upravlenie portfelyami proektov. Sootvetstvie proektov strategicheskim tselyam kompanii [Managing portfolios of projects. The compliance of projects with the strategic goals of the company]. Moscow, Vil'yams, 2014. pp. 48–49. (in Russian).

2 Kudryavtsev E.M. Metody setevogo planirovaniya i upravleniya proektom [Methods of network planning and project management]. Moscow, DMK Press, 2008. 240 p. (in Russian).

3 Khafizov I.I. Economic efficiency and effectiveness of ways of separating materials electro di-amond processing. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, no. 1, Art. No. 012014, 2016. vol. 134.

4 Levshanova Yu.Yu. Analysis of methods of planning and production management. *Ekonomika i upravlenie: analiz tendentsii i perspektiv razvitiya* [Economics and management: analysis of tendencies and prospects of development]. 2014. pp. 125. (in Russian).

5 Novitskii N.I. Setevoe planirovanie i upravlenie proizvodstvom [Network planning and production management]. Moscow, 2009. 159 p. (in Russian).

6 Pokhabov V.I., Popova N.D. Ekonomiko-matematicheskie metody i modeli. Praktikum. [Economic-mathematical methods and models]. Minsk 2009. pp. 12-23. (in Russian).

7 Trusova L.I., Bogdanov V.V., Shchepochkin V.A. Organizatsiya proizvodstva i menedzhment v mashinostroenii [Organization of production and management engineering]. Ul'yanovsk, 2009. 406 p. (in Russian).

8 Turovets O.G., Bukhalkov M.I., Rodionov V.B. Organizatsiya proizvodstva i upravlenie predpriyatiem [Organization of production and enterprise management]. Moscow, INFA-M, 2009. 544 p. (in Russian).

9 Khafizov I.I., Zakirova A.R., Sadykov Z.B., konferentsii Modern technologies and materials – the key point in revival of domestic aircraft building. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii

[Materials of International scientific-practical conference]. 2010. vol. 2. Kazan, pp. 228–229. (in Russian).

10 Tsipes G.L., Tovb A.S. Proekty i upravlenie proektami v sovremennoi kompanii [Projects and project management in modern companies]. Moscow, Olimp-Biznes, 2009. 51-57 p. (in Russian).

11 Enlow H. Planning R and D Projects Using GERT. Arizone State University, Erno-Kjohede E., Project Management Theory and Management of Research Projects. MPP Working Paper3,2000. 37 p.

12 Alexandor K., Soldatos J. Linear versus Network Scheduling: A Critical Path Comparison. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2007, vol. 133, no 7, pp. 483. Available at: DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2007)133:7(483).

13 Kastor A., Sirakoulis K. The effectiveness of resource leveling tools for Resource Constraint Project Scheduling Problem. *International Journal of Project Management*. 2009, vol. 27(5), pp. 493-500. Available at: doi.org/10.1057/jors.2009.9

14 Pritsker A., Alan B. GERT: Graphical Evaluation and Review Technique, Memorandum RM-4973 NASA. The Corporation. Santa Monica (California).

15 Seon-Gyoo Kim. CPM Schedule Summarizing of the Beeline Diagramming Method. *Journal of Assian Architecture and Building Engineering*. 2012, vol. 11, 2012, no. 2, pp. 367-374. DOI: 10.3130/jaabe.11.367

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Юлия Ю. Левштанова** студент, кафедра биомедицинской инженерии и управления инновациями, Инженерный институт Казанского (Приволжского) федерального университета, ул. Сайдашева, 12, г Казань, 420021, Россия, inboxjulia@bk.ru

**Ильдар И. Хафизов** к.т.н., заместитель директора по образовательной деятельности, Инженерный институт, Казанского (Приволжского) федерального университета, ул. Сайдашева, 12, г. Казань, 420021, Россия, khafizov@kpfu.ru

#### КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

**Юлия Ю. Левштанова** написала рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

**Ильдар И. Хафизов** консультация в ходе исследования

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 11.04.2017

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 19.05.2017

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Yulia Yu. Levshanova** student, Biomedical Engineering and Innovation Management department, Engineering Institute of Kazan (Volga) federal university, Saidashev st., 12, Kazan, 420021, Russia, inboxjulia@bk.ru

**Ildar I. Khafizov** candidate of technical sciences, deputy director of the education part, Engineering Institute of Kazan Federal University, Saidashev st., 12, Kazan, 420021, Russia, khafizov@kpfu.ru

#### CONTRIBUTION

**Yulia Yu. Levshanova** wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

**Ildar I. Khafizov** consultation during the study

#### CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 4.11.2017

ACCEPTED 5.19.2017