

Алгоритм выполнения работ по автоматизированной конвейерной сборке самолета без пересмотра топологии сетевого графика

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт»*

Сформулирована проблема необходимости выполнения работ по автоматизированной конвейерной сборке самолета в целях поиска оптимальной формы организации технологического процесса. Приведены порядок и правила построения сетевого графика. Рассмотрен пример планирования выполнения комплекса работ по автоматизированной конвейерной сборке самолета. Построен сетевой график, проведен его всесторонний анализ и проведена оптимизация хода работ по автоматизированной конвейерной сборке самолета без пересмотра топологии. Представлены результаты оптимизации, подтверждающие эффективность использования резервов времени и трудовых ресурсов не критических путей.

Ключевые слова: технологический процесс, сборка самолета, оптимизация, сетевой график, критический путь, графики загрузки.

Введение

Развитие современного авиастроения характеризуется усилением конкуренции на мировых рынках, что заставляет предприятия решать задачу обеспечения высочайшего качества продукции и экономии ресурсов (материальных, интеллектуальных, временных), привлекаемых для реализации конкретных проектов или программ на всех стадиях жизненного цикла изделия [1].

Ситуация на мировом рынке наукоемкой продукции развивается в сторону полного перехода на безбумажную электронную технологию проектирования, изготовления и сбыта наукоемкой продукции.

Принятию решения о запуске в производство нового изделия должен предшествовать, в соответствии с концепциями маркетинга, анализ состояния и прогнозирования изменения потребительских и технологических свойств нового и конкурирующего изделий, прогнозирования спроса, анализ производственных возможностей предприятия и эффективности применения новых технологий.

1. Формулирование проблемы

Установленные на основании технологического членения технические и логические взаимосвязи между проводимыми работами, позволяют перейти к построению сетевого графика [2].

Выбор оптимальной формы организации технологического процесса планируется производить путем нахождения критического пути и резервов времени сетевого графика. После чего необходимо провести всесторонний анализ графика и предпринять меры по его оптимизации. При этом под оптимизацией сетевого графика понимается процесс улучшения организации

комплекса работ с учетом сроков выполнения используемых ресурсов [3 - 7].

Анализ сетевого графика и дальнейшая его оптимизация проводятся с различными целями:

- сокращение продолжительности критического пути, т.е. срока выполнения всего комплекса работ;
- выравнивание коэффициентов напряженности работ;
- выравнивание загрузки исполнителей по календарным периодам, сокращение перегрузок и перерывов в работе.

При оптимизации хода работ применяются различные организационные решения. В связи с чем, возникает вопрос о поиске оптимальной формы организации технологического процесса, что невозможно без рассмотрения всех возможных организационных решений и сравнения их по критериям эффективности.

2. Порядок и правила построения сетевого графика

Общий порядок построения сетевого графика для рассматриваемого процесса кратко можно представить следующим образом:

- 1) планируемый процесс расчленяется на отдельные работы с учетом требуемой степени детализации, составляется перечень работ, продумываются логические связи и последовательность работ, определяются исполнители;
- 2) оценивается трудоемкость и продолжительность каждой работы:

$$t_{ij} = \frac{T_{ij}}{\Phi_{д\ сут} K_{вн} K_{одн}},$$

где t_{ij} - продолжительность работы, [раб. дн.];

T_{ij} - трудоемкость работы, [н-час];

$\Phi_{д\ сут}$ - суточный действительный фонд времени, [час./сут.];

$K_{одн}$ - коэффициент одновременно работающих исполнителей;

$K_{вн}$ - коэффициент выполнения норм;

- 3) составляется сетевой график;

4) рассчитываются параметры событий и работ, определяются резервы времени и критический путь;

- 5) проводится анализ и оптимизация сетевого графика;

6) по данным принятого варианта сетевого графика определяются плановые задания исполнителям - состав, трудоемкость, сроки начала и окончания выполняемых работ.

Рассмотрим планирование выполнения комплекса работ по технологической подготовке производства автоматизированной конвейерной сборки самолета на специализированном участке. В табл. 1 приведен перечень работ с указанием минимального (t_{min}) и максимально (t_{max}) времени выполнения каждой работы при указанном количестве исполнителей (n). Прежде всего, необходимо определить технологическую и логическую связь выполнения работ.

После взаимоувязки выполнения комплекса работ каждому событию присваивается номер. При этом каждая работа получает условное обозначение, состоящее из номера начального (i) и номера конечного (j) события, при этом должно выполняться условие $i < j$ (табл. 2).

Таблица 1

Исходные данные для планирования выполнения комплекса работ

Перечень работ	t_{min}	t_{max}	n
Сборка элементов поперечного силового набора консоли крыла	1	3,5	2
Сборка элементов продольного силового набора консоли крыла	2	4,5	2
Сборка элементов усиления консоли крыла	1,1	2,1	1
Сверление, зенкерование, клепка панели консоли крыла	5	10	1
Сборка панелей	0,6	1,6	3
Сборка секций	0,5	1	3
Сборка крыла	1	3,5	3
Сборка хвостовой секции консоли крыла	1,2	2,7	2
Сборка носовой секции консоли крыла	1,2	1,45	2
Сборка элементов поперечного набора фюзеляжа	11	21	5
Сборка элементов продольного набора фюзеляжа	10	15	7
Сверление, зенкерование, клепка панели фюзеляжа	11	21	1
Установка силовых шпангоутов, сборка панелей	5	10	7
Сборка секций	6	11	5
Установка двигателя	1	3,5	3
Установка шасси	0,6	1,6	3
Сборка элементов поперечного силового набора горизонтального оперения	1	1,5	2
Сборка элементов продольного силового набора горизонтального оперения	0,5	3	2
Сборка элементов усиления горизонтального оперения	0,5	1	2
Сверление, зенкерование, клепка панели горизонтального оперения	2	4,5	1
Сборка панелей горизонтального оперения	0,1	0,6	2
Сборка секций горизонтального оперения	0,1	0,35	2
Сборка горизонтального оперения	1	1,5	3
Сборка элементов поперечного силового набора вертикального оперения	0,5	1	2
Сборка элементов продольного силового набора вертикального оперения	0,4	1,4	2
Сборка элементов усиления вертикального оперения	0,5	1	2
Сверление, зенкерование, клепка панели вертикального оперения	1	3,5	1
Сборка панелей вертикального оперения	1	1,5	2
Сборка секций вертикального оперения	0,6	1,6	2
Установка кия	0,1	0,6	2
Установка хвостовой части фюзеляжа	0,6	1,6	3

Таблица 2

Условное обозначение работ и их продолжительность

<i>i-j</i>	<i>Перечень работ</i>	<i>T_{ij}</i>
0-1	Сборка элементов поперечного силового набора консоли крыла	2
0-2	Сборка элементов продольного силового набора консоли крыла	3
0-3	Сборка элементов усиления консоли крыла	1,5
2-4	Сверление, зенкерование, клепка панели консоли крыла	7
4-5	Сборка панелей	1
5-8	Сборка секций	0,7
8-28	Сборка крыла	2
0-6	Сборка хвостовой секции консоли крыла	1,8
0-7	Сборка носовой секции консоли крыла	1,3
0-9	Сборка элементов поперечного набора фюзеляжа	15
0-10	Сборка элементов продольного набора фюзеляжа	12
9-11	Сверление, зенкерование, клепка панели фюзеляжа	15
11-12	Установка силовых шпангоутов, сборка панелей	7
12-13	Сборка секций	8
13-14	Установка двигателя	2
14-28	Установка шасси	1
0-15	Сборка элементов поперечного силового набора горизонтального оперения	1,2
0-16	Сборка элементов продольного силового набора горизонтального оперения	1,5
0-17	Сборка элементов усиления горизонтального оперения	0,7
16-18	Сверление, зенкерование, клепка панели горизонтального оперения	3
18-19	Сборка панелей горизонтального оперения	0,3
19-20	Сборка секций горизонтального оперения	0,2
20-21	Сборка горизонтального оперения	1,2
0-22	Сборка элементов поперечного силового набора вертикального оперения	0,7
0-23	Сборка элементов продольного силового набора вертикального оперения	0,8
0-24	Сборка элементов усиления вертикального оперения	0,7
23-25	Сверление, зенкерование, клепка панели вертикального оперения	2
25-26	Сборка панелей вертикального оперения	1,2
26-27	Сборка секций вертикального оперения	1
27-21	Установка киля	0,3
21-28	Установка хвостовой части фюзеляжа	1

3. Анализ и оптимизация сетевого графика

После нахождения критического пути и резервов времени необходимо провести всесторонний анализ графика (рис.1) и предпринять меры по его оптимизации. Этот этап в разработке сетевых графиков раскрывает основную идею системы сетевого планирования и управления. При этом под оптимизацией сетевого графика понимается процесс улучшения организации комплекса работ с учетом сроков выполнения и используемых ресурсов.

Предварительный анализ сетевого графика предусматривает:

- 1) анализ топологии сети (правильности построения сети согласно установленной очередности работ, степени их членения и т.д.);
- 2) анализ резервов времени, классификацию и группировку работ по величинам резервов и коэффициентам напряженности;

3) анализ потребности в ресурсах (количества исполнителей, затрат), степени использования наличных ресурсов и т.д.

При проведении анализа сетевых графиков для их дальнейшей оптимизации требуется увязка сетевого графика со шкалой календарного времени и наличными трудовыми ресурсами. Для этого сетевой график перестраивают с учетом масштаба времени и дополняют графиками трудовых ресурсов (графиками загрузки).

Обычный сетевой график имеет недостаток - отсутствие масштаба времени, что затрудняет увязку сроков события и работ с календарным временем.

В практике сетевого планирования и управления применяют различные приемы перестройки сетевой модели в масштабе времени: построение сетевого графика сразу в масштабе времени, перестройка сетевого графика в обычный линейный график с отражением связей работ, построение линейной карты сети (рис. 2).

График загрузки (рис.3) - это диаграмма необходимого количества исполнителей по временным интервалам выполнения планируемого комплекса работ.

При оптимизации хода работ применяются различные организационные решения.

Без пересмотра топологии сетевого графика.

1. Сокращение продолжительности работ критических и подкритических путей за счёт привлечения дополнительных работников и финансов. При этом, исходя из неизменности трудоёмкости работы, новая продолжительность работы рассчитывается по формуле:

$$T_{ij}^{нов} = \frac{T_{ij}^{баз} N_{ij}^{баз}}{N_{ij}^{нов}}$$

2. Использование резервов времени и трудовых ресурсов некритических путей; при этом возможно два случая:

а) исполнители работ некритических путей перемещаются на работы критического пути; при этом работы некритических путей удлиняются; удлинение допустимо в пределах располагаемых резервов.

б) меняются сроки работ: начало работ сдвигаются с ранних на промежуточные или поздние сроки, при этом возможно высвобождение людей на работах, которые вместо параллельных стали последовательными.

Такой вариант представлен на рис. 4.

Результаты оптимизации представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты оптимизации

	До оптимизации	После оптимизации	Изменение
Продолжительность критического пути, дней	48	48	-
Максимальное количество исполнителей	33	12	-63,6%

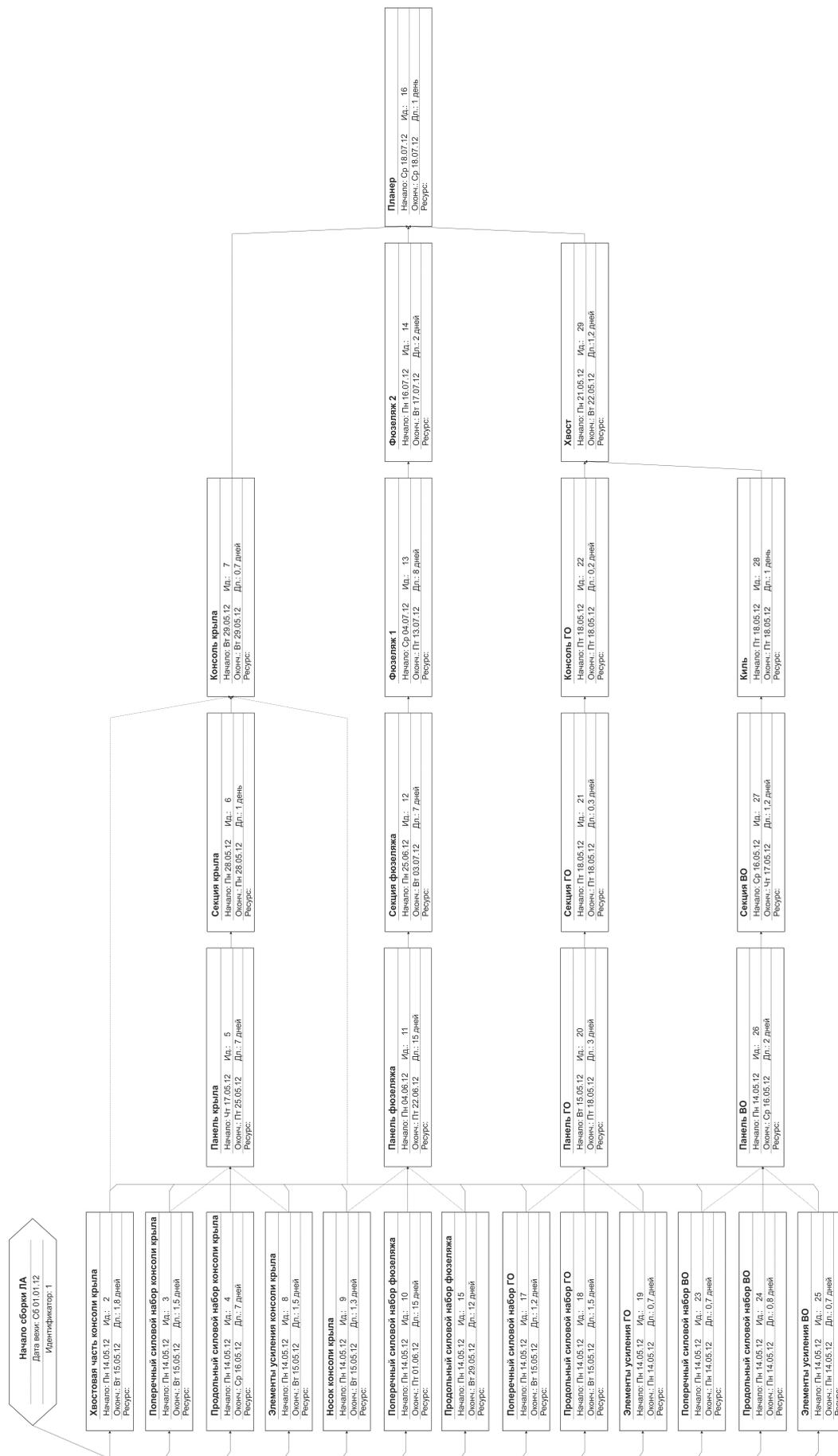


Рис. 1. Сетевой график автоматизированной конвейерной сборки самолета

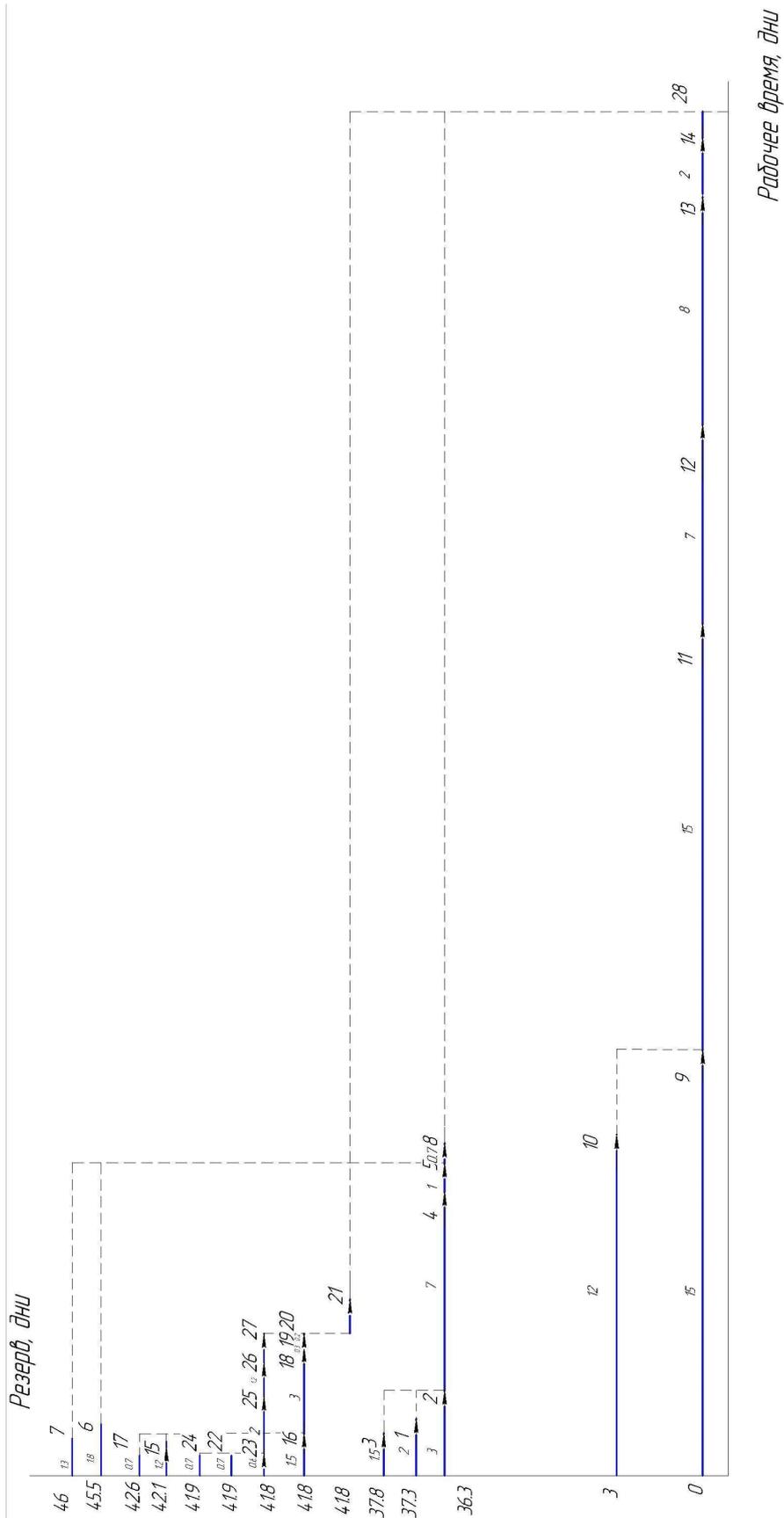


Рис. 2. Линейная карта сети автоматизированной конвейерной сборки самолета

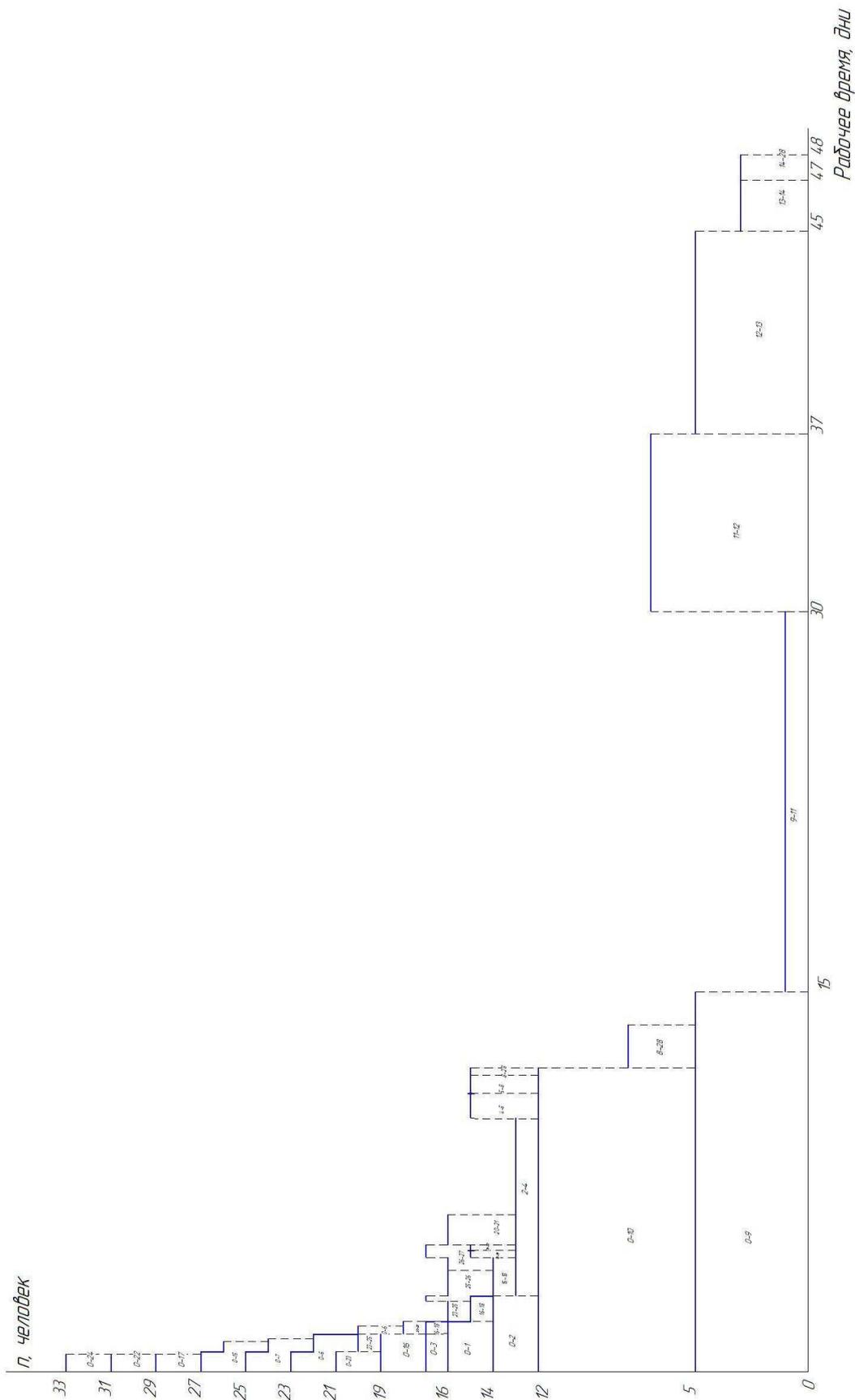


Рис. 3. График загрузки исполнителей при автоматизированной конвейерной сборке самолета

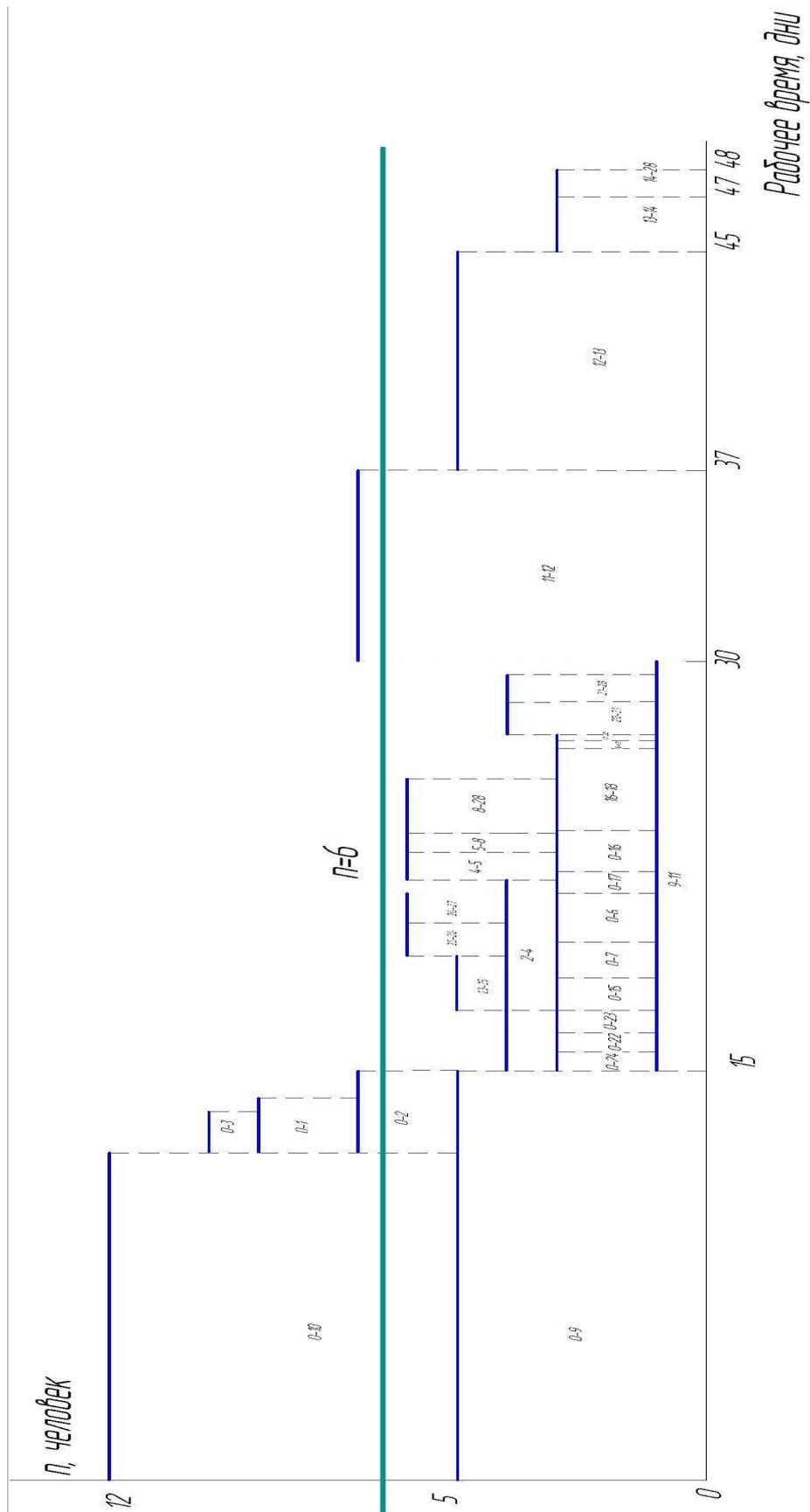


Рис. 4. Оптимизированный график загрузки при автоматизированной конвейерной сборке самолета без пересмотра топологии сетевого графика

Выводы

1. Сформулирована проблема необходимости планирования комплекса работ по автоматизированной конвейерной сборке самолета в целях поиска оптимальной формы организации технологического процесса.

2. Рассмотрен пример планирования выполнения комплекса работ по автоматизированной конвейерной сборке самолета.

3. С целью поиска оптимальной формы организации технологического процесса построен сетевой график, проведен его всесторонний анализ и проведена оптимизация хода работ по автоматизированной конвейерной сборки самолета без пересмотра топологии.

4. На конкретном примере показано, что использование резервов времени и трудовых ресурсов некритических путей позволяет уменьшить максимальное количество исполнителей на 63,6%, при условии отказа от пересмотра топологии сетевого графика.

Список литературы

1. Воронько, В.В. Основные направления и тенденции развития зарубежных технологий сборки авиационных конструкций [Текст] / В.В. Воронько // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 45. – Х., 2010. – С. 87 – 98.

2. Метод автоматизированной конвейерной сборки планера самолета [Текст] / В.С. Кривцов, Ю.А. Воробьев, В.В. Воронько, В.Е. Зайцев // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: Сб. науч. трудов. – Вып. 55. – Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т «ХАИ», 2012. – С. 5 – 13.

3. Технология производства самолетов и вертолетов : учеб. пособие по курсовому и диплом. проектированию: в 2 ч. Сборочно-монтажные работы [Текст] / В.С. Кривцов, Ю. М. Букин, Ю. А. Боборыкин, Ю. А. Воробьев. – Х. : Нац. аэрокосмический ун-т "ХАИ", 2006. – 258 с.

4. Робототехнические системы в сборочном производстве [Текст] / под. ред. Е.В. Пашкова – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987. – 272 с.

5. Технология сборки самолетов [Текст] / Ершов В.И., Павлов В.В., Каширин М.Ф., Хухорев В.С. – М.: Машиностроение, 1986. – 456 с.

6. Бабушкин, А.И. Моделирование и оптимизация сборки летательных аппаратов [Текст] / А.И. Бабушкин. – М.: Машиностроение, 1990. – 240 с.

7. Конструкция самолетов и вертолетов [Текст]: учеб. / В. С. Кривцов, Л. А. Малашенко, В. Л. Малашенко, С. В. Трубаев. – Х. : ХАИ, 2010. – 366 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. Ф.В. Новиков ,
Харьковский национальный экономический университет, Харьков

Поступила в редакцию 20.08.12.

Алгоритм виконання робіт з автоматизованого конвеєрного складання літака без перегляду топології мережного графіка

Сформульовано проблему необхідності планування комплексу робіт з автоматизованого конвеєрного складання літака з метою пошуку оптимальної форми організації технологічного процесу. Наведено порядок і правила побудови мережного графіка. Розглянуто приклад планування виконання комплексу робіт з автоматизованого конвеєрного складання літака. Побудовано мережний графік, проведено його всебічний аналіз і оптимізацію ходу робіт з автоматизованого конвеєрного складання літака без перегляду топології. Подано результати оптимізації, що підтверджують ефективність використання резервів часу і трудових ресурсів некритичних шляхів.

Ключові слова: технологічний процес, складання літака, оптимізація, мережний графік, критичний шлях, графіки завантаження.

Execution algorithm works on automated pipeline assembly of the aircraft without revising the topology of the network diagram

The research states the necessity of planning the work package on automated pipeline assembly of the aircraft in order to find the optimum form of organization of the technological process. It presents the order and the rules of constructing the network diagram. Also, it views the example and the rules of performing the work package on automated pipeline assembly of the aircraft. We have built the graph, provided its comprehensive analysis and optimized the workflow of automated pipeline assembly of the aircraft revising the topology. Here, we provide the results of optimization that prove the efficiency of using float time and human resources of noncritical paths.

Keywords: technological process, aircraft assembly, optimization, network diagram, critical path, load diagram.