

## References

1. Deruzhinskij G. V. Uluchshenie vzaimodejstviya razlichnyh vidov transporta (organizacionno-ekonomicheskie aspekty): - Transportnoe delo Rossii. 2003. №5. s. 101-103.
2. Deruzhinskij G. V. Modelirovanie gruzovyh i transportnyh potokov v transportno-raspredelitel'nyh uzle / G. V. Deruzhinskij, A. S. Vitvickij. – Ekonomika ustojchivogo razvitiya. 2019. №2(38). S. 130-136.
3. Orlov N. E. Koordinaciya raboty morskogo i vzaimodejstvuyushchih s nim vidov transporta / N. E. Orlov, V. I. Tyurin. -M.: V/O «Mortekhinformreklama», 1987.
4. Pervozvanskij A. A. Matematicheskie modeli v upravlenii proizvodstvom. - M.: Nauk, 1978.
5. Dmitriev YU. L., Poplavskij G. V. Metodologicheskie principy sovershenstvovaniya organizacii obrabotki sudov v sisteme nepreryvnogo planirovaniya. – V KN: Problemy tekhnologii mekhanizacii i avtomatizacii peregruzochnyh rabot na morskome transporte: Sb. nauchnyh trudov. - M.: V/O Mortekhinformreklama, 1984.
6. Kizim A. A. Konceptsiya postroeniya regional'noj transportno-logisticheskoy sistemy: vopros teorii i praktiki: monografiya. Krasnodar: Kub. gos. un-t, 2004.

УДК 65.012.12 (075.8)

DOI: 10.34046/aumsuomt99/4

## ОРГАНИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЕ СУДОРЕМОНТОМ НА ОСНОВЕ СЕТЕВЫХ ГРАФИКОВ. ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ

*В. Е. Деружинский, доктор экономических наук, профессор  
Г. В. Деружинский, доктор экономических наук, профессор  
К. А. Аблязов, кандидат технических наук, доцент*

В работе исследована система сетевого планирования и управления, позволяющий эффективно совершенствовать работу аппарата управления предприятиями и осуществлять планирование, контроль и оперативное регулирование производственного процесса. Сетевой график позволяет проводить многовариантный анализ различных решений по изменению технологической последовательности работ, распределению ресурсов и т. д. с целью улучшения исходного плана. В репрезентативном примере наглядно представлены методы сокращения времени критического пути, используемого для оптимизации сетевого графика.

**Ключевые слова:** судоремонтные предприятия, сетевой график, действительная работа, фиктивная работа, событие, критический путь, ремонт поворотного механизма судового крана, система планирования и управления.

## ORGANIZATION OF PLANNING AND MANAGEMENT OF SHIP REPAIRS BASED ON NETWORK SCHEDULES. DOMESTIC EXPERIENCE

*V.E. Deruzhinsky, G.V. Deruzhinsky, K. A. Ablyazov*

In work the system of network planning and management, is investigated by the enterprises and to exercise planning, the control and expeditious regulation of production allowing to improve effectively work of management personnel. The network schedule allows to carry out the multiple analysis of various decisions on change of the technological sequence of works, to distribution of resources, etc. for the purpose of improvement of the initial plan. In a representative example methods of reduction of time of the critical way used for optimization of the network schedule are visually presented.

**Keywords:** ship-repair enterprises, network schedule, valid operation, fictitious operation, event, critical way, repair of the rotary mechanism of the ship crane, system of planning and management.

Современный уровень судоремонтного производства характеризуется большим объемом производства, сложностью и новизной конструкций объектов ремонта, а так же многосторонними связями судоремонтных предприятий с предприятиями смежных отраслей, с проектными и научными организациями. Методы и технические средства управления судоремонтным производством не должны отставать от современных требований, предъявляемых к аппарату управления производством.

Поэтому возникает необходимость совершенствовать работу аппарата управления судоремонтными предприятиями.

Существует несколько путей дальнейшего улучшения работы по управлению производством. Самый простой и доступный из них - это удовлетворение всех требований, предъявляемых к аппарату управления посредством механизации инженерного и управленческого труда, за счет внедрения в практику работы аппарата управления сложнейших средств организационной техники и цифровой экономики.

Современные средства механизации и автоматизации инженерного и управленческого

труда представляют собой комплекс машин, аппаратов, устройств, приспособлений и различных технических средств - от простейших картотек до самых сложных и быстродействующих вычислительных машин и программного обеспечения.

Эти средства по характеру выполняемых работ делятся на средства: по изготовлению документации, выполнению чертежных и графических работ; копирования и размножения документов; обработки, учета и т. д.

Следует, однако, иметь в виду, что для успешного внедрения и использования даже простейших технических средств механизации инженерного и управленческого труда необходимо постоянно работать над унификацией большого числа разнообразных документов, используемых на судоремонтных предприятиях.

Для дальнейшего совершенствования системы управления постоянно проводят в большом объеме технико-экономические исследования, в результате которых научно обосновываются методология и техника планирования оперативного регулирования производства, нормативная база, система учета, контроля и анализа производственной и хозяйственной работы коллективов цехов, а также методика выбора и оценки оптимальной организационной структуры аппарата управления.

Серьезную помощь в коренном изменении и дальнейшем совершенствовании управления судоремонтным предприятием должно оказать внедрение определенных систем управления на базе широкого использования экономико-математических методов, организационной техники и ЭВМ.

Примером такой системы является система сетевого планирования и управления (СПУ) на основе сетевых графиков.

Метод сетевого планирования и управления является подлинно научным, позволяющим эффективно осуществлять планирование, контроль и оперативное регулирование производственного процесса. В основе СПУ лежит использование сетевой модели, четко отображающей процесс выполнения комплекса взаимосвязанных работ. Характерной чертой сетевой модели производственного процесса является возможность точной оценки объема и продолжительности предстоящих ремонтных работ, увязки этих работ во времени и в технологической последовательности, что позволяет выбрать те работы, которые определяют общую продолжительность всего комплекса работ.

Судоремонтные предприятия в силу специфических особенностей судоремонта (важнейшая

из них - постоянно изменяющийся объем ремонтных работ, который практически невозможно окончательно установить до прихода судна и окончания дефектации) при внедрении метода СПУ столкнулись с невозможностью составить так называемый многоцелевой сетевой график, отображающий общий технологический процесс ремонта всех судов, стоящих на акватории судоремонтного предприятия. Несмотря на это, метод СПУ и в дальнейшем принесет большую пользу судоремонтникам при условии, если среднее звено инженерно-технических работников изучит сущность и достоинства этого прогрессивного метода планирования и управления производством.

В бывшем СССР новые системы планирования и управления, известные под названием метод СПУ, получили широкое распространение при постройке крупных и сложных инженерных сооружений и комплексов. Метод СПУ назван так потому, что он является сочетанием организационных действий, выполняемых в определенном порядке большим коллективом людей с применением современных экономико-математических методов и ЭВМ.

Появление метода сетевого планирования и управления обусловлено определенными объективными причинами, рассмотренными ниже.

*Изменение условий постановки инженерных задач.* В недавнем прошлом, принимая решение о создании новых технических средств, исходили главным образом из целесообразности и экономической эффективности предложенной идеи. Однако при отсутствии специального оборудования или необходимого материала предложение отклонялось, несмотря на предполагаемую высокую эффективность спроектированного технического средства.

В настоящее время в результате успехов научно-технической революции созданы условия для решения сложных инженерно-технических проблем.

Характерными примерами новых условий постановки инженерных задач являются решения о создании искусственных спутников Земли, космических кораблей, строительстве атомных электростанций, атомхода «Ленин» и т. д. [1, 4]

Коренное изменение условий постановки инженерных задач привело к изменению планирования и организации производства, так как при этих условиях многие вопросы в процессе разработки длительное время остаются неясными и результат зачастую совсем не похож на тот, который предполагался в начале работы. Поэтому в новых условиях традиционные методы планирования и управления, основанные на личном опыте

работников предприятия, становятся непригодными.

*Новизна технических средств и массовый характер их возникновения.* С изменением условий постановки инженерных задач появились новые технические средства и увеличились масштабы их производства путем модернизации эксплуатируемых или путем создания совершенно новых технических средств (электронно-вычислительные машины, электронные микроскопы, современные транспортные и научно-исследовательские суда, суда на подводных крыльях и на воздушной подушке и т. д.).

Массовый характер возникновения новых технических средств потребовал изменения традиционных методов планирования и управления производством в силу наличия высокого уровня неопределенности при разработке технологии производства, расчете стоимости, сроков изготовления и внедрения освоенных технических средств.

*Переход от разработки отдельных технических средств к созданию технических комплексов.* Изменения условий постановки инженерных задач, возникновение и развитие новых технических средств привели к изменению характера инженерных разработок по созданию технических комплексов. Производство технического комплекса значительно труднее, чем отдельного (даже сложного) нового технического средства. Трудность состоит не только в том, что комплекс - это сочетание многих технических средств, но и в том, что в создании технического комплекса участвуют десятки и сотни организаций и предприятий из различных отраслей народного хозяйства, имеющие свои конкретные производственные задачи по выполнению государственных плановых заданий.

Исключительно высокий уровень неопределенности при производстве новых технических комплексов приводит к множеству изменений и трудностей при координации выполняемых работ по основным технико-экономическим показателям.

Итак, современные инженерные разработки по созданию сложных комплексов характеризуются большим объемом производства, новизной конструкции, массовостью и участием в производственном процессе многочисленных коллективов со сложными производственными взаимосвязями по межведомственной и внутриведомственной кооперации.

Изменение условий постановки инженерных задач, новизна технических средств и массо-

вый характер их возникновения привели к разработке новых методов планирования и управления производством, в частности - СПУ (вместо совершенствования существующих).

Эти методы в результате использования экономико-математических методов с применением современной электронно-вычислительной техники обеспечивают выбор оптимального варианта решения производственных и технико-экономических проблем и производственных задач предприятия.

Система СПУ включает: руководство и специальные службы СПУ; ответственных исполнителей; сетевой график (основа системы); электронно-вычислительную технику.

Сетевой график является графической моделью технологического процесса изготовления или ремонта определенного изделия, механизма, агрегата, сооружения и т. д. Он наглядно изображает последовательность и взаимную связь выполняемых работ, позволяет рассчитать сроки начала и окончания работ, резервы времени и другие параметры.

*Метод СПУ* в судоремонте направлен на обеспечение рациональной организации, планирования и управления деятельностью коллектива работников для достижения качественного и своевременного выполнения установленных объемов ремонтных работ при минимально возможных затратах времени, труда, материальных, финансовых и других ресурсов.

В основе СПУ лежит использование сетевой модели, метко отображающей процесс выполнения комплекса взаимосвязанных работ. Увязка этих работ во времени и в технологической последовательности позволяет выбрать те работы, которые определяют общую продолжительность всего комплекса работ. Методы СПУ дают возможность предвидеть "узкие места", рационально распределить трудовые и материальные ресурсы. При использовании сетевых моделей ремонта подъемно-транспортного оборудования можно четко отразить маршрутную технологию ремонта каждого ПТМ, составить обоснованный календарный план проведения ремонтных работ и обоснованно прогнозировать ведущие работы; проводить многовариантные анализы различных решений по изменению технологической последовательности работ и распределению ресурсов; применять для обработки исходной и оперативной информации современные средства вычислительной техники.

Информационной моделью комплекса ра-

бот является сетевой график. Сетевой график судоремонта, отражает технологическую взаимосвязь всех работ, начиная с принятия решения о постановке судна на ремонт и кончая сдачей его из ремонта. Сетевой график позволяет анализировать выполнение работ по ремонту и упорядочить оперативную информацию об их проведении по степени важности.

Технологический график разрабатывается отделом главного технолога с участием прораба, руководящего ремонтом судна. Основанием для составления графика является уточненная ремонтная ведомость, сметная трудоемкость и технология выполнения работ, количество рабочих и продолжительность работ.

*Разработка технологических графиков на ремонт судов.* Технологический график является обобщающим технологическим документом, в котором отражены все работы по ремонту судна в их взаимосвязи. График, рассматриваемый в разрезе основных работ, представляет собой принципиальную технологию ремонта судна, на основании которой разрабатывается наиболее эффективная организация выполнения работ по ремонту.

При разработке графика весь технологический комплекс работ по ремонту судна подразделяется на составные части. Перечень этих составных частей называется структурным перечнем, а схема, показывающая взаимную связь этих частей, - структурной схемой.

Степень дифференциации работ при подготовке структурного перечня должна удовлетворять следующим требованиям: дробление работ должно вестись до уровня, позволяющего представить все работы во взаимосвязи; должна быть обеспечена возможность разграничения и, соответственно, планирования работ по исполнителям.

Более глубокое дробление работ приводит к неоправданному увеличению их количества и усложнению управления производством.

Основанием для составления графика являются уточненная ремонтная ведомость, сметная трудоемкость и технология выполнения работ, на основе которых определяют взаимосвязи между работами, количество рабочих и продолжительность работ.

Технологический график разрабатывается отделом главного технолога с участием прораба, руководящего ремонтом данного судна.

За начало ремонта в графике принимают дату приемки судна в ремонт. Конечный срок ремонта и, соответственно, продолжительность его определяют на основании нормативов среднесу-

точной выработки либо по длительности наиболее продолжительных работ. В исключительных случаях продолжительность ремонта устанавливают на основании директивного срока.

Технологический график является основным документом для оперативно-календарного планирования и разработки плана — загрузки цехов.

По своей структурной схеме технологический график может быть представлен либо в виде линейного графика (график Ганта), либо в виде сетевого графика.

*Линейные графики* просты по структуре. В них приводятся все работы, по каждой работе указываются исполнители (цех, специальность), трудоемкость, длительность и календарные даты начала и конца работ. Календарные даты устанавливают исходя из взаимосвязи работ.

Наиболее сложным при разработке графика является определение продолжительности работ. Нормативную продолжительность  $t_H$  (в сут.) каждой работы определяют по формуле

$$t_H = \frac{T}{8nck}, \quad (1)$$

где  $T$  - сметная трудоемкость работы, ч;

$8$  - продолжительность рабочего дня при пятидневной неделе, ч;

$n$  - количество рабочих, участвующих в выполнении работы;

$c$  - сменность при выполнении данной работы;

$k$  - коэффициент переработки сметной трудоемкости.

В тех случаях, когда трудоемкость работ еще не известна, ожидаемая продолжительность работ  $t_{ож}$  определяют на основе экспертных оценок.

Линейные графики получили наибольшее распространение на судоремонтных заводах, однако они обладают рядом существенных недостатков.

Основные недостатки линейных графиков: связь между работами, т. е. последовательность и взаимная зависимость выполняемых работ, на графике не показаны. Связь между окончанием одних работ и началом других, являющихся продолжением первых, на графике не видна. Эти связи подразумеваются. Если график небольшой, то такие связи более или менее наглядны. Но если в графике сотни работ и некоторые из них связаны с несколькими другими работами, то взаимную связь между всеми работами уже трудно установить даже составителю графика. Отсутствие

наглядного изображения связей не позволяет создать четкую систему управления ходом работ, а также не позволяет применить ЭВМ для обработки графиков, что особенно важно при большом количестве работ; в процессе выполнения возникают неизбежные изменения в объеме и содержании работ и соответственно изменение их продолжительности, вследствие чего нужно перестраивать график. Однако изменения возникают сравнительно часто, и так как каждый раз перестраивать график долго и сложно, то постепенно этот график из документа, организующего процесс выполнения работ, превращается в документ, организующий процесс. Получается, например, что по графику работу нужно уже давно начать, а фактически ее начинать нельзя; в линейном графике сложно представить все работы, поскольку, помимо основных работ, имеется большое количество сопутствующих, ожиданий и т.п. Такие работы составителем графика обычно подразумеваются. Например, при наклейке изоляции внутри корпуса составитель подразумевает, не включая в график, такие работы, как сушка корпуса после гидравлического испытания, подготовка изоляционных материалов и клея.

Появление работ, не предусмотренных графиком, не позволяет нормально управлять ходом производства.

*Общие понятия о структуре сетевого графика.* Сетевой график состоит из стрелок и кружков (рис. 1). Стрелками в сети изображаются отдельные работы. Понятие работа используется в широком смысле и может иметь следующие значения:

- действительная работа или просто работа - трудовой процесс, требующий затрат времени и ресурсов; работа характеризуется продолжительностью, выраженной в часах, сутках, месяцах и т.д.;

- ожидание - процесс, требующий затрат времени, но не требующий затрат ресурсов (например, процесс высыхания краски);

- фиктивная работа (зависимость) - работа, не требующая расхода времени и ресурсов; изображает логическую связь между работами и указывает, что возможность начала одной работы зависит от окончания другой (например, установка главного двигателя зависит от готовности фундамента, установка электродвигателя зависит от готовности редуктора); фиктивная работа изображается пунктирной стрелкой;

- событие (X) – результат совершения одной или нескольких работ. Всем событиям присваивается определенный номер (цифровой код).

Путь – любая последовательность работ, у

которых конечное событие совпадает с начальным событием последующей работы.

Продолжительность любого пути равна сумме продолжительностей составляющих его работ.

Критический путь – путь, имеющий наибольшую суммарную продолжительность работ. Этот путь определяет срок окончания всего комплекса работ.

Расчет сетевого графика выполняют с целью определить критический путь в виде перечня составляющих его работ, продолжительность критического пути, сроки начала и окончания работ, резервы времени работ для расчета и оптимизации сетевого графика необходимо ввести следующие обозначения параметров:

$t_j$  - продолжительность работ;

$T_i$  - минимальный срок наступления события;

$\bar{T}_i$  - максимальный срок наступления события;

$T_{\text{нач}}^{\text{min}}$  - минимальный срок начала работы;

$T_{\text{нач}}^{\text{max}}$  - максимальный срок начала работы;

$T_{\text{кон}}^{\text{min}}$  - минимальный срок окончания работы;

$T_{\text{кон}}^{\text{max}}$  - максимальный срок окончания работы;

q- событие, стоящее в конце работы;

p-событие, стоящее в начале работы;

$\tau_j$  - резерв времени.

Зная ожидаемые продолжительности всех работ, можно вычислить ранние и поздние сроки наступления событий, а также сроки начала и окончания работ, резервы времени работ.

Для того чтобы найти минимальный срок наступления любого события необходимо просчитать суммарные затраты времени по всем ведущим в соответствующий этому событию узел и выбрать из них максимальное значение.

Когда для какого-либо события срок его наступления установлен нужно строить дальнейшие пути, отправляясь от этого события как от начального.

Получив минимальный срок конечного события, т.е. время окончания всех работ, можно отправляясь от него и выполняя процедуру в обратном порядке, вычислить максимальные сроки наступления всех событий графика, исходя из необходимости закончить все работы в вычисленный срок.

Для нахождения критического пути необходимо вычислить максимальные и минимальные возможные сроки начала и окончания всех работ,

а затем резерв времени каждой работы по следующим формулам:

$$T_{\text{нач}}^{\min} = T_p, \text{ т.е.}$$

минимальное начало каждой работы определяется временем наступления события, находящегося в начале данной работы,

$$T_{\text{кон}}^{\max} = \bar{T}_q, \text{ т.е.}$$

максимальное окончание каждой работы определяется временем наступления события, находящегося в конце данной работы:

$$T_{\text{нач}}^{\max} = \bar{T}_j - t_j$$

$$T_{\text{кон}}^{\min} = T_p + t_j$$

$$t_j = T_{\text{нач}}^{\max} - T_{\text{нач}}^{\min} = T_{\text{кон}}^{\max} - T_{\text{кон}}^{\min}$$

Критический путь составляют работы, у которых резерв времени равен нулю. Работы, не лежащие на критическом пути, обладают резервом времени. Резерв времени работы показывает, насколько может быть увеличена продолжительность данной работы или отсрочено начало, чтобы продолжительность проходящего через неё максимального пути не превысила продолжительность критического пути.

Наличие критического пути позволяет использовать его в качестве основы для оптимизации сетевого графика. Под оптимизацией сетевого графика понимают процесс улучшения исходного плана. Оптимизировать сетевой график можно по различным показателям: по времени и по ресурсам.

Оптимизацию по времени следует производить в том случае, когда получаемое по графику время окончания работ оказывается более директивного.

Существуют несколько возможностей оптимизации сетевого графика по времени:

- 1) за счет сокращения времени критических операций;
- 2) за счет изменения конфигурации сети.

Оптимизации сетевого графика по времени за счет сокращения продолжительности выполнения критических операций производится путем перехода от нормальной продолжительности к минимальной посредством переброски ресурсов с работ, имеющих резерв времени, на работы, лежащие на критическом пути. Если внутренних ресурсов окажется недостаточно, то привлекаются дополнительные. Такой способ оптимизации не требует изменения его конфигурации (структуры). Но если он не дает нужного сокращения времени выполнения всего комплекса операций, то в этом случае прибегают к изменению структура сетевого графика за счет выбора другой возможной технологии ремонта.

Сокращение срока может быть достигнуто также за счет расчленения операций на более мелкие и их параллельного выполнения.

**Репрезентативный пример расчета критического пути и оптимизации сетевого графика.**

*Пример.* Произвести расчет критического пути и оптимизировать сетевой график, если продолжительности работ имеют следующие значения:

$$t_1=3; t_2=7; t_3=5; t_4=3; t_5=5; t_6=6; t_7=3; t_8=2; t_9=6; t_{10}=2; t_{11}=4;$$

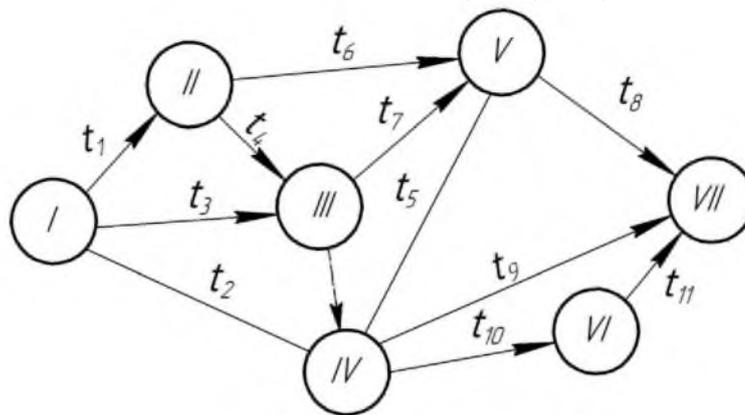


Рисунок 1 - Сетевой график ремонта поворотного механизма судового крана

Рассчитываем минимальные сроки наступления событий графика.

Для события I (начального события графика)  $T_1=0$ .

Для события II, к которому ведет только один путь (работа I) получим:

$$T_2 = T_1 + t_1 = 0 + 3 = 3$$

$$T_2 = 3.$$

Для события III имеем два пути. Учитывая лишь работу 3, получим первое, неокончательное значение для времени  $T_3$ :

$$T_3^{(3)} = T_1 + t_3 = 0 + 5 = 5$$

Соответствующее вычисление по работе 4 приводят к значению

$$T_5^{(4)} = T_2 + t_4 = 3 + 3 = 6$$

Наибольшее из этих значений, дает как раз искомый срок наступления события, т. е.  $T_3 = 6$ .

Для события IV имеем:

$$T_4^{(2)} = T_1 + t_2 = 0 + 7 = 7$$

$$T_4^{(\text{фикт})} = T_3 = 6$$

Следовательно,  $T_4 = 7$ .

Для события V имеет три пути. Вычисляя по каждому на них, получим:

$$T_5^{(5)} = T_4 + t_5 = 7 + 5 = 12$$

$$T_3^{(6)} = T_2 + t_6 = 6 + 3 = 9$$

$$T_5^{(7)} = T_3 + t_7 = 6 + 3 = 9$$

Следовательно,  $T_5 = 12$ .

Для события VI, к которому ведет только один путь, получаем

$$T_6 = T_4 + t_{10} = 7 + 2 = 9$$

Следовательно,  $T_6 = 9$ .

Наконец, для события VII имеем:

$$T_7^{(8)} = T_5 + t_8 = 12 + 2 = 14$$

$$T_7^{(9)} = T_4 + t_9 = 7 + 6 = 13$$

$$T_7^{(11)} = T_6 + t_{11} = 9 + 4 = 13$$

Следовательно,  $T_7 = 14$

Получив минимальный срок наступления конечного события графика, можно рассчитывать максимальные сроки наступления всех событий, исходя из необходимости закончить работу в вычисленный срок. Для события VII известно, что  $T_7 = \bar{T}_7$ , следовательно  $\bar{T}_7 = 14$ .

Для события VI имеем:

$$\bar{T}_6 = \bar{T}_7 - t_{11} = 14 - 4 = 10$$

$$\bar{T}_6 = 10$$

Аналогично вычисляем для события V:

$$\bar{T}_5 = \bar{T}_7 - t_8 = 14 - 2 = 12$$

$$\bar{T}_5 = 12$$

Из события IV выходят три работы, поэтому исследуем три возможности:

$$\bar{T}_4^{(10)} = \bar{T}_6 - t_{10} = 10 - 2 = 8$$

$$\bar{T}_4^{(9)} = \bar{T}_7 - t_9 = 14 - 6 = 8$$

$$\bar{T}_4^{(5)} = \bar{T}_5 - t_5 = 12 - 5 = 7$$

Следовательно  $\bar{T}_4 = 7$

Для события III определяем:

$$\bar{T}_3^{(\text{фикт})} = \bar{T}_4 = 7$$

$$\bar{T}_3^{(7)} = \bar{T}_5 - t_7 = 12 - 3 = 9$$

Следовательно  $\bar{T}_3 = 7$

Для события II соответственно:

$$\bar{T}_2^{(6)} = \bar{T}_5 - t_6 = 12 - 6 = 6$$

$$\bar{T}_2^{(4)} = \bar{T}_3 - t_4 = 7 - 3 = 4$$

Выбираем  $\bar{T}_2 = 4$ .

Наконец для начального события, при правильном вычислении время наступления всегда должно быть равно нулю:

$$\bar{T}_1^{(3)} = \bar{T}_3 - t_3 = 7 - 5 = 2$$

$$\bar{T}_1^{(2)} = \bar{T}_4 - t_2 = 7 - 7 = 0$$

$$\bar{T}_1^{(1)} = \bar{T}_2 - t_1 = 4 - 1 = 3$$

Выбираем наименьшее значение, а именно  $\bar{T}_1 = 0$ .

Полученные данные минимальных и максимальных сроков наступления событий графика сведем в таблицу 1.

Таблица 1 - Минимальные и максимальные сроки наступления событий

Сроки	События						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
$T_i$	0	3	6	7	12	9	14
$\bar{T}_i$	0	4	7	7	12	10	14

Из этой таблицы, видно, что для событий II, III, VI допустимо опоздание на единицу времени без изменения общего срока окончания работ.

Для событий IV и V никакие опоздания недопустимы, т.к. задержка в их выполнении приводит к увеличению общего срока работы.

События, обладающие таким свойством, принято говорить, что они находятся на критическом пути. Для нахождения критического пути вычислим максимальные и минимальные сроки начала и окончания всех работ, а затем определим резерв времени каждой работы. Вычисления производим по формулам, представленным выше. Полученные результаты сведем в таблицу 2.

Таблица 2 - Нахождение критического пути

Номер работы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Продолжительность работы, $t_j$	3	7	5	3	5	6	3	2	6	2	4
Минимальный срок начала работы, $T_{\text{нач}}^{\min} = T_p$	0	0	0	3	7	3	6	12	7	7	9
Максимальный срок начала работы, $T_{\text{нач}}^{\max} = \bar{T}_q - t_j$	1	0	2	4	7	6	9	12	8	8	10
Минимальный срок окончания работы, $T_{\text{кон}}^{\min} = T_p + t_j$	3	7	5	6	12	9	9	14	13	9	13
Максимальный срок окончания работы, $T_{\text{кон}}^{\max} = \bar{T}_q$	4	7	7	7	12	12	12	14	14	10	14
Резерв времени, $\tau_j$	1	0	2	1	0	3	3	0	1	1	1

Работы, у которых резерв времени равен нулю, составляют критический путь. В нашем случае критический путь составляют работы 2, 5 и 8. Остальные работы имеют большие или меньшие ненулевые резервы времени.

На этапе предварительного планирования определение критического пути, сопровождается анализом возможностей сокращения продолжительности находящихся на этом пути работ. Учет этих возможностей с соответствующим пересчетом всего графика определяет новый критический путь, для которого вновь ищут возможности сокращения сроков и так далее, пока не будут исчерпаны все возможности дальнейшего улучшения графика, то есть производится оптимизация сетевого графика. Произведем оптимизацию сетевого графика по времени без привлечения дополнительных ресурсов. Для этого необходимо уменьшить продолжительность работ, лежащих на критическом пути, за счет привлечения для их выполнения рабочих ресурсов с работ, имеющих резервы времени. При этом соответственно увеличивается продолжительность тех работ, ресурсы которых мы используем для сокращения времени выполнения работ критического пути.

Сокращение продолжительности работ критического пути целесообразно начинать с конечных работ, в нашем случае с работы 8. Сократим продолжительность работы 8 на единицу времени, т.е. значение  $t_8$  равно 1. Для этого нужно использовать работы, имеющие наибольший резерв времени, в нашем случае работы 6 и 7. Сократив сначала работу 6, получаем новое значение  $t_6 = 7$ . Произведем пересчет сетевого графика с учетом новых значений  $t_8$  и  $t_6$ , результаты сведем в таблицу 3 и 4.

Сокращение продолжительности работ критического пути целесообразно начинать с конечных работ, в нашем случае с работы 8. Сократим продолжительность работы 8 на единицу времени, т.е. значение  $t_8$  равно 1. Для этого нужно использовать работы, имеющие наибольший резерв времени, в нашем случае работы 6 и 7. Сократив сначала работу 6, получаем новое значение  $t_6 = 7$ . Произведем пересчет сетевого графика с учетом новых значений  $t_8$  и  $t_6$ , результаты сведем в таблицу 3 и 4.

Таблица 3 - Пересчет сетевого графика с учетом новых значений  $t_8$  и  $t_6$

Сроки	События						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
$T_i$	0	3	6	7	12	9	13
$\bar{T}_i$	0	4	7	7	12	9	13

Таблица 4 - Нахождение критического пути

Номер работы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Продолжительность работы, $t_j$	3	7	5	3	5	7	3	1	6	2	4
Минимальный срок начала работы, $T_{\text{нач}}^{\min} = T_p$	0	0	0	3	7	3	6	12	7	7	9
Максимальный срок начала работы, $T_{\text{нач}}^{\max} = \bar{T}_q - t_j$	1	0	2	4	7	5	9	12	7	7	9
Минимальный срок окончания работы, $T_{\text{кон}}^{\min} = T_p + t_j$	3	7	5	6	12	10	9	13	13	9	13
Максимальный срок окончания работы, $T_{\text{кон}}^{\max} = \bar{T}_q$	4	7	7	7	12	12	12	13	13	9	13
Резерв времени, $\tau_j$	1	0	2	1	0	3	3	0	0	0	0

На графике стало три критических пути, которые проходят через работы: 1) 2, 5 и 8; 2) 2 и 9; 3) 2, 10 и 11. Время наступления конечного события уменьшилось на единицу.

Теперь, чтобы уменьшить срок наступления конечного события, нужно одновременно уменьшать продолжительность выполнения работ каждого критического, пути. В нашем случае

это удобно сделать для работ 5; 9 и 11. Ресурсы для этого используем за счет работ 6 и 7, имеющих большие резервы времени. Поэтому принимаем следующие новые продолжительности выполнения указанных работ:  $t_5 = 4$ ;  $t_3 = 5$ ;  $t_{11} = 3$ ;  $t_6 = 8$ ;  $t_7 = 5$ . Производим пересчет сетевого графика и результаты сводим в таблицы 5 и 6.

Таблица 5 - Новые сроки наступления событий

Сроки	События						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
$T_i$	0	0	6	7	11	9	12
$\bar{T}_i$	0	3	6	7	11	9	12

Таблица 6 - Нахождение критического пути

Номер работы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Продолжительность работы, $t_j$	3	7	5	3	4	8	5	1	5	2	3
Минимальный срок начала работы, $T_{\text{нач}}^{\text{min}} = T_p$	0	0	0	3	7	3	6	11	7	7	9
Максимальный срок начала работы, $T_{\text{нач}}^{\text{max}} = \bar{T}_q - t_j$	0	0	1	3	7	3	6	11	7	7	9
Минимальный срок окончания работы, $T_{\text{кон}}^{\text{min}} = T_p + t_j$	3	7	5	6	11	11	11	12	12	9	12
Максимальный срок окончания работы, $T_{\text{кон}}^{\text{max}} = \bar{T}_q$	3	7	6	6	11	11	11	12	12	9	12
Резерв времени, $\tau_j$	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Срок наступления конечного события, то есть окончания всех работ уменьшился, еще на единицу времени. Дальнейшая оптимизации графика без привлечения ресурсов извне невозможна, т.к. необходимо сокращать продолжительность выполнения сразу нескольких работ, а резервом времени обладает только работа 3 и резерв этот минимален.

Входной информацией для обработки информации на ЭВМ являются шифры работ и их продолжительность. Выходной информацией, выдаваемой ЭВМ, являются все параметры, рассмотренные выше.

На основе сетевых графиков на предприятиях создаются системы сетевого планирования и управления (СПУ).

**Заключение.** Системы СПУ могут успешно применяться в работе предприятий для решения большого круга производственных задач, относящихся к области оперативно-календарного планирования, оперативного планирования и управления судоремонтным предприятием; оперативного планирования управления доковым

ремонт; определения загрузки технологического оборудования; формирования годовой и квартальной производственной программы судоремонтного предприятия и т.д. Следует также отметить, что сетевой график позволяет:

- с любой степенью детализации отобразить структуру ремонта и установить взаимосвязь его частей;
- составить обоснованный план выполнения работ;
- осуществить обоснованное прогнозирование критических работ и сконцентрировать внимание руководства на их выполнении;
- более эффективно по заданному критерию использовать ресурсы;
- проводить многовариантный анализ различных решений по изменению технологической последовательности работ, распределению ресурсов и т. д. с целью улучшения плана;
- использовать для обработки информации современные средства вычислительной техники, оперативно выдавать данные о фактическом со-

стоянии проекта, а также осуществлять непрерывное планирование работ путем корректировки планов с учетом возникших изменений.

Актуальность данной темы исследования заключается в том, что на основе сетевых графиков на предприятиях возможно создание системы сетевого планирования и управления, за счет чего достигается стабильное планирование управления судоремонтом.

### Литература

1. Деружинский В. Е., Березовский Ф. М., Деружинский Г. В. Экономика и организация судоремонтного производства: учебное пособие / под ред. В. Е. Деружинского. – Новороссийск: НГМА, 2004.
2. Кохтев А. А. Основы стандартизации. – М.: «Высшая школа», 1971.
3. Либерман Е. Г., Звягинцев Ю. Е., Золотарев А. Н. и др. Организация и планирование производства на машиностроительных предприятиях. – М.: «Машиностроение», 1967.
4. Беньковский, Д.Д. Организация и планирование производства на судоремонтных предприятиях. Д.Д. Беньковский, Л.Г. Будорацкий, Г.А. Оганезов, С.Л. Соيفер, Д.П. Терк - Изд-е 2-е, перераб. и доп. - М., «Транспорт», 1976.

5. Деружинский В. Е., Аблязов Э. К. Модели конкурентоспособности предприятия. Зарубежный опыт. // Вестник Государственного Морского университета имени адмирала Ф. Ф. Ушакова. №3 (32).

### References

1. Deruzhinskij V. E., Berezovskij F. M., Deruzhinskij G. V. Ekonomika i organizaciya sudoremontnogo proizvodstva. Uchebnoe posobie / Pod red. V. E. Deruzhinskogo. – Novorossijsk: NGMA, 2004.
2. Kohtev A. A. Osnovy standartizacii. M.: «Vysshaya shkola», 1971.
3. Liberman E. G., Zvyaginцев YU. E., Zolotarev A. N. i dr. Organizaciya i planirovanie proizvodstva na mashinostroitel'nyh predpriyatiyah. M.: «Mashinostroenie», 1967.
4. Ben'kovskij, D.D. Organizaciya i planirovanie proizvodstva na sudoremontnyh predpriyatiyah. D.D. Ben'kovskij, L.G. Budorackij, G.A. Oganезov, S.L. Sojfer, D.P. Terk - Izd-e 2-e, pererab. i dop. - M., «Transport», 1976.
5. Deruzhinskij V. E., Ablyazov E. K. Modeli konkurentosposobnosti predpriyatiya. Zarubezhnyy opyt. Vestnik Gosudarstvennogo Morskogo universiteta imeni admirala F. F. Ushakova. №3 (32). Novorossijsk. RIO GMU imeni admirala F. F. Ushakova. 2020.

DOI: 10.34046/aumsuomt99/5

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФУНКЦИЙ КОББА-ДУГЛАСА ПО СТАТИСТИЧЕСКИМ РЯДАМ

*Я.Я. Эглит, доктор технических наук, профессор*

*К.Я. Эглите, доктор экономических наук, профессор*

*Е.А. Попова, старший преподаватель*

*А.А. Юрченко, магистр*

В статье представлена методика определения параметров производственных функций Кобба-Дугласа по статистическим рядам. В связи с тем, что доставка грузов морским транспортом является сложным многоступенчатым процессом, включающим в себя операции в морском торговом порту, на железной дороге, то необходимо исследовать параметры всех производственных функций. Это позволяет сделать математическое моделирование всего транспортного процесса.

**Ключевые слова:** параметры, производственные функции, статистические ряды, математическое моделирование.

## DEFINING THE PARAMETERS OF COBB-DOUGLAS PRODUCTION FUNCTIONS FOR STATISTICAL SERIES

*Y. Eglit, K. Eglite, E. Popova, A., Yurchenko*

The methodology of defining the parameters of Cobb-Douglas production functions for statistical series is introduced in the present article. Regarding the fact that cargo delivery by sea transport is complicated multi-stage process, which includes operations in a sea trade port, railway operations, then it is necessary to research the parameters of all production functions. Mathematical modelling of all transport process allows to implement it.

**Key words:** parameters, production functions, statistical series, mathematical modelling.

### 1. Введение

Общественное производство – сложно управляемый процесс, связанный с преобразованием ресурсов в конечный продукт. Как правило, эти ресурсы ограничены. Поэтому эксперименты не должны проходить непосредственно на самом

объекте, так как это слишком дорого и опасно. Для этих целей должны использоваться математические модели. Отсюда следует, что управление общественным производством должно быть основано на современном математическом аппа-