



Alexandr S. Rashkovskiy
Рашковский
Александр
Саулович

УДК629.512
P28

SPECIFICITY OF PREPARATION FOR PRODUCTION FOR CONSTRUCTION OF COMPOSITE AND REINFORCED CONCRETE FLOATING STRUCTURES

СПЕЦИФИКА ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА КОМПОЗИТНЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛАВУЧИХ СООРУЖЕНИЙ

DOI 10.15589/SMI. 2015.02.05

Alexandr S. Rashkovskiy А. С. Рашковский, д-р техн. наук, проф.¹
olexsandr.rashkovskiy@nuos.edu.ua
ORC ID: 0000-0002-3730-3748

Alexandr V. Shchedrolosiev А. В. Щедролосоєв, д-р техн. наук, проф.²
science@ketc.kherson.ua
ORC ID: 0000-0001-7972-3882

Natalia V. Tsykalo Н. В. Цыкало, канд. техн. наук, доц.¹
natalia.tsykalo@nuos.edu.ua
ORC ID: 0000-0001-5366-0158

¹*Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv*

²*NUS Kherson branch, Kherson*

¹*Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев*

²*Херсонский филиал НУК, г. Херсон*



Alexandr V. Shchedrolosiev
Щедролосоєв
Александр
Викторович



Natalia V. Tsykalo
Цыкало
наталья
Викторовна

Abstract. When modern ships, ocean technology tools and various floating structures are constructed, scientific, engineering and design and production teams of not only the shipbuilding industry, but also various related industries participate there. Therefore, the preparation for production (PP) in the shipbuilding industry is an important and a very complex science-intensive process, which requires the high organizational and technical level for its implementation. PP for the construction of the composite and reinforced concrete floating structures differs significantly from the preparation for production for the all-metal objects, and its duration is often commensurate with the duration of the construction of the floating structure. A new system of planning and accounting units of work (PAUW) has been developed. The method of formation of PAUW and the organizational and technical documentation and production management was developed on its basis. The mathematical models of construction of the composite and reinforced concrete floating structures include calculation of the parameters of the network model, control of the technological preparation for production, calculation of the optimality criteria, control of the construction process and allowing the coordinating of the production activities of the workshops of the plant.

Keywords: floating structures, reinforced concrete, preparation for production, planning and accounting units of work, mathematical models.

Анотація. Підготовка виробництва для будівництва композитних та залізобетонних плавучих споруд суттєво відрізняється від підготовки виробництва для цільнометалевих об'єктів. Розроблено нову систему планово-облікових одиниць робіт та на її основі — математичні моделі будівництва композитних і залізобетонних плавучих споруд.

Ключові слова: плавучі споруди; залізобетон; підготовка виробництва; планово-облікові одиниці робіт; математичні моделі.

Аннотация. Подготовка производства для строительства композитных и железобетонных плавучих сооружений существенно отличается от подготовки производства для цельнометаллических объектов. Разработана новая система планово-учетных единиц работ и на ее основе — математические модели строительства композитных и железобетонных плавучих сооружений.

Ключевые слова: плавучие сооружения; железобетон; подготовка производства; планово-учетные единицы работ; математические модели.

References

[1] Rimmer A. I. *Podgotovka proizvodstva v sudostroenii* [Preparation for production in shipbuilding]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1976. 253 p.

- [2] Aryu A. R. *Kompleksnaya podgotovka proizvodstva v sudostroenii* [Integrated preparation for production in shipbuilding]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1988. 336 p.
- [3] Slutskiy N. G., Rashkovskiy A. S. *Kompleksnaya podgotovka proizvodstva pri stroitelstve kompozitnykh plavuchikh dokov na KhGZ «Pallada»* [Integrated preparation for production in construction of composite floating docks at KSP «Pallada»]. *Mezhdunarodnyy sb. nauch. trudov «Progressivnye tekhnologi i sistemy mashinostroeniya»* [International collection of scientific papers «Progressive Technologies and Systems in Engineering»], 2007, issue 33, pp. 276–282.
- [4] Khodorkovskiy L. M. *Metody informatsionnogo otobrazheniya protsessov proizvodstva i upravleniya na sudostroitel'nom predpriyatii* [Methods of information display production and control processes at the shipyard]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1981. 176 p.
- [5] Rashkovskiy A. S., Slutskiy N. G., Konnov V. N., Shchedrolosev A. V., Uzlov A. N. *Proektirovanie, tekhnologiya i organizatsiya stroitelstva kompozitnykh plavuchikh dokov bolshoy podemnoy sily* [Design, technology and organization of construction of composite floating docks with high lift]. Nikolaev, RAL-poligrafiya Publ., 2008. 614 p.
- [6] Slutskiy N. G. *Upravlenie organizatsionno-tekhnologicheskoy podgotovkoy stroitelstva kompozitnykh plavuchikh sooruzheniy* [Management of organizational and technological preparation of construction of composite floating structures]. *Zbirnyk naukovykh prats NUK* [Collection of Scientific Publications of NUS], 2005, issue 403, no. 4, pp. 146–153.
- [7] Lipis A. V., Ryzhov V. A., Sizov V. A. *Sistema planovo-uchetnykh edinit' sudostroitel'nogo predpriyatiya i upravlenie proizvodstvom* [System of planning and accounting units of shipbuilding enterprise and production management]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 2002, pp. 41–43.
- [8] Mikhelev S. B. *Avtomatizatsiya protsessov podgotovki proizvodstva* [Automation of processes of preparation for production]. Minsk, Belarus Publ., 1973. 224 p.

Problem statement. When modern ships, ocean technology tools and various floating structures are constructed, scientific, engineering and design and production teams of not only the shipbuilding industry, but also various related industries, connected with the development and introduction into production of new materials and production processes, associated equipment, participate there. The terms of development and achievement of technical and economic indicators at the constructing company depend on their joint efforts and coordination of work.

The preparation for production (PP) in the shipbuilding industry is an important and a very complex science-intensive process, which requires the high organizational and technical level for its implementation. The aim of this preparation is to ensure full readiness of the constructing company to the fulfillment of the program of construction of the highest quality objects in a timely manner with the given technical and economic indicators. Under such a readiness of the constructing company we mean the information about the following points: whether it contains a complete set of design, technological and organizational documents; timely logistic assistance; availability of computers and technological equipment; training and retraining of workers and engineers; technical re-equipment and reconstruction of workshops and sites; the presence of a normal socio-psychological climate in the working teams; efficiency and profitability of production, providing high technical and economic performance of work.

Thus, the preparation for production in the shipbuilding company is complex and is a set of interrelated processes of different types of work and activities and is significantly different from the similar work in other industries.

Постановка проблемы. В создании современных судов, средств океанотехники и различных плавучих сооружений участвуют научные, конструкторско-технологические и производственные коллективы не только судостроительной промышленности, но и различных смежных отраслей, связанных с освоением и внедрением в производство новых материалов и технологических процессов, комплектующего оборудования. От их совместных усилий и уровня координации работ зависят сроки создания и достижения технических и экономических показателей на предприятии-строителе.

Подготовка производства (ПП) в судостроении является важным и весьма сложным наукоемким процессом, требующим для своей реализации высокого организационно-технического уровня. Цель этой подготовки — обеспечить полную готовность предприятия-строителя к выполнению программы строительства объектов высшей категории качества в установленные сроки с заданными технико-экономическими показателями. Под такой готовностью предприятия-строителя подразумеваются: наличие на нем полного комплекта конструкторских, технологических и организационных документов; своевременное материально-техническое обеспечение; наличие средств вычислительной техники и технологического оснащения; подготовка и переподготовка кадров рабочих и ИТР; техническое перевооружение и реконструкция цехов и участков; наличие нормального социально-психологического климата в коллективах; экономичность и рентабельность производства, обеспечивающих высокие технико-экономические показатели работы.

Таким образом, подготовка производства на судостроительном предприятии является комплексной и представляет собой совокупность взаимосвязан-

In recent years, special attention on the world market is paid to U-like composite floating docks with the large lifting force, consisting of the solid-cast reinforced concrete pontoon and two solid steel towers, as well as new types of floating concrete structures: houses on water, hotels, entertainment facilities, car parks, berths for ships and working with general cargo, warehouses and storage areas, floating power stations, means for the development of the continental shelf, bases of submersible drilling platforms, bases for expeditionary workers, flooded pontoons used to delineate artificial groundwater islands, landing stages, dock-side unsafe sea protecting facilities etc.

Composite and reinforced concrete floating structures have distinctive features of design and organization of construction, a specific technology of parts manufacturing, formation of the hull on the slipway from them. For the floating dock the hull launching is performed with individual parts, followed by their docking afloat using the caisson free method [4]. Therefore, PP for the construction of the composite and reinforced concrete floating structures differs significantly from the preparation for production for the all-metal objects, and its duration is often commensurate with the duration of the construction of the floating structure. At that, more than one half of the labour intensity of the entire preparation accounts for the organizational and technological one. The average distribution of the labour intensity of the preparation for production of the all-metal objects is shown in Fig. 1 [1].

Latest research and publications analysis. The scientific works [1, 5, 8] are devoted to the solution of certain problems of preparation for production. However, they are based on the four-level system of production management and do not take into account the specifics of the construction of composite reinforced concrete and floating structures.

ных процессов разных видов работ и мероприятий и существенно отличается от аналогичных работ в других отраслях промышленности.

В последние годы особым вниманием на мировом рынке пользуются U-образные композитные плавучие доки большой подъемной силы, состоящие из монолитного железобетонного понтона и двух сплошных стальных башен, а также новые виды плавучих железобетонных сооружений: жилые дома на воде, гостиницы, объекты развлекательного назначения, автостоянки, причалы для судов и работы с генеральными грузами, склады и хранилища, плавучие электростанции, средства освоения континентального шельфа, основания погружных буровых платформ, базы для экспедиционных рабочих, затопляемые понтоны для оконтуривания искусственных грунтовых островов, дебаркадеры, припортовые волнозащитные сооружения и др.

Композитные и железобетонные плавучие сооружения имеют отличительные особенности конструкции и организации строительства, специфическую технологию изготовления частей, формирования из них корпуса на стапеле, для плавучего дока спуск на воду корпуса отдельными частями с последующей их стыковкой на плаву бескессонным способом [4]. Поэтому ПП для строительства композитных и железобетонных плавучих сооружений существенно отличается от подготовки производства для цельнометаллических объектов. Продолжительность подготовки производства часто соизмерима с длительностью строительства плавучего сооружения, при этом более половины трудоемкости всей подготовки приходится на организационно-технологическую. Среднее распределение трудоемкости работ по подготовке производства для строительства цельнометаллических объектов приведено на рис. 1 [1].

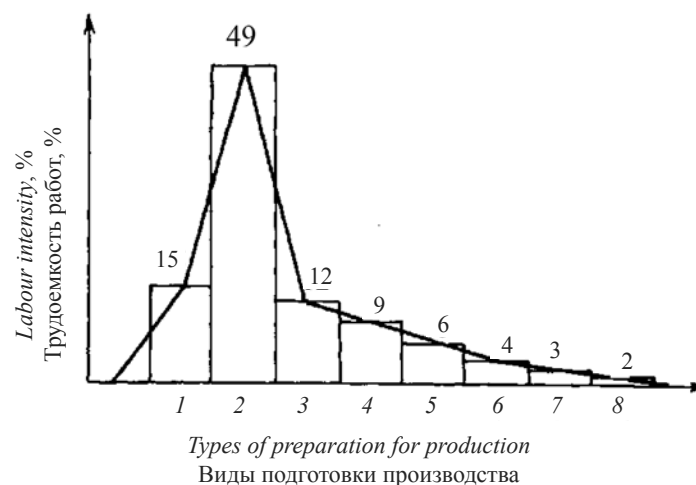


Fig. 1. Distribution of the labour intensity on the types of complex preparation for production in shipbuilding companies:

Рис. 1. Распределение трудоемкости по видам комплексной подготовки производства на судостроительных предприятиях: 1 — construction (CPP) / конструкторская (КПП); 2 — technological (TPP) / технологическая (ТПП); 3 — organizational (OPP) / организационная (ОПП); 4 — material and technical (MTP) / материально-техническая (МТП); 5 — capital construction, technical re-equipment and reconstruction / капитальное строительство, техническое перевооружение и реконструкция; 6 — staff training / подготовка кадров; 7 — economical / экономическая; 8 — socio-psychological / социально-психологическая.

THE ARTICLE AIM is the development of mathematical models describing the production activities of shops of the plant and allowing its coordination in the process of construction of composite and reinforced concrete floating structures.

Basic material. In preparation for production the largest volume of work falls on the technological (TPP) and organizational (OPP) preparation for production (Fig. 1). They provide technological and organizational readiness of the plant for the construction of a floating structure, as well as the given the growth of the technical level of production. During the construction of composite and reinforced concrete floating structures TPP and OPP include the formation of the planned technological and organizational documents, defining the technology and organization of the orders construction. As a result of the implementation of functions of the TPP and the OPP a set of planning and technical documentation is developed, which provides the management of floating structures construction.

Production of composite floating structures is a set of interrelated processes of the complex preparation for production and construction, which has the following features: design and construction are of considerable duration; detailed design can be conducted in parallel with the construction; construction is performed using special construction sites (slipways, outfitting quays, lifting and launching appliances); complexity of the construction is millions of labor hours. In addition, there is a combination of different types of products manufactured; large range of material resources, components, structures and components; discrete resource utilization.

Enlarged production is a combination of the following process groups: integrated PP; production of composite floating structures itself; testing, commissioning, warranty and post-warranty service.

The main way to build composite floating docks and other reinforced concrete floating structures is a precast method, which involves their formation on the stocks of reinforced concrete sections, with subsequent grouting of joints. Formation of metal towers of docks is performed with the block method.

In addition, each shipyard has its own individual organizational management structure, developed technologies and accumulated experience in the construction of ships and different floating structures. All these features should be considered when designing the tools of the control system.

The main object of the system of production management is the information, integrated into the flows, describing business processes. Production management is divided into levels and phases: planning; accounting; control; analysis and regulation.

A distinctive feature of shipbuilding production management is the application of a special system of planning and accounting units of work (PAUW) [1, 2]. Development of the PAUW system in shipbuilding is due to the high structural complexity and long cycle of construction of shipbuilding facilities, their need to organize planning, accounting, control and regulation of production. The PAUW

Анализ последних исследований и публикаций. Решению отдельных задач подготовки производства посвящены работы [1, 5, 8], однако, они основываются на четырехуровневой системе управления производством и не учитывают специфику строительства композитных и железобетонных плавучих сооружений.

ЦЕЛЬ СТАТЬИ — разработка математических моделей, описывающих производственную деятельность цехов завода и позволяющих координировать ее в процессе строительства композитных и железобетонных плавучих сооружений.

Изложение основного материала. При подготовке производства самый большой объем работ приходится на технологическую (ТПП) и организационную (ОПП) подготовку (рис. 1). Они обеспечивают технологическую и организационную готовность завода к строительству плавучего сооружения, а также заданный рост технического уровня производства. При строительстве композитных и железобетонных плавучих сооружений ТПП и ОПП включают в себя формирование планово-технологической и организационной документации, определяющей технологию и организацию строительства заказов. В результате реализации функций ТПП и ОПП создается комплект планово-технологической документации, обеспечивающей управление строительством плавучих сооружений.

Производство композитных плавучих сооружений — это совокупность взаимосвязанных процессов комплексной подготовки производства и строительства, отличающихся следующими особенностями: проектирование и строительство имеют значительную продолжительность; рабочее проектирование может вестись параллельно со строительством; для строительства применяются специальные построечные места (стапели, достроечные набережные, подъемно-спусковые устройства); трудоемкость строительства составляет миллионы нормо-часов. Кроме того, имеют место: сочетание различных видов производимой продукции; большая номенклатура материальных ресурсов, деталей, конструкций и комплектующих изделий; дискретное использование ресурсов.

Укрупнено производство представляет совокупность следующих групп процессов: комплексная ПП; непосредственно производство композитных плавучих сооружений; испытания, сдача, гарантийное и послегарантийное обслуживание.

Основным способом строительства композитных плавучих доков и других железобетонных плавучих сооружений является сборный метод, который предполагает их формирование на стапеле из железобетонных секций, с последующим омоноличиванием стыков. Формирование металлических башен доков осуществляется блочным способом.

Кроме этого, каждый судостроительный завод имеет свою индивидуальную организационную структуру управления, сложившиеся технологии и накопленный практический опыт в строительстве судов и различных плавучих сооружений. Все эти

system provides the coverage of the entire amount of work on the orders construction; technological consistency and completeness of work performance by all the divisions of the enterprise; planning, control and accounting of work; aggregation of information on the levels of management; automation of processes of information processing of the production indicators. It should be noted that much attention is paid to the problems of the formation and construction of the PAUW system in shipbuilding.

The existing method of PAUW development in the construction of ships defines the basic provisions of this system, used in shipbuilding enterprises, and forms their composition: the vessel (order); technological stage; shop-stage; technological package; brigade package. This system is focused on the four-level structure of management of the enterprise, with PAUW corresponding to each level.

To display the processes of vessel construction the network models are used in shipbuilding. These models provide the ability to model such processes. The network model of the process of the development of an object, a mathematical analogue of which is a directed graph, and the process of production management are displayed on the computer with a complex of modeling algorithms [8].

Meeting the challenges of production management is based on the use of models of varying degrees of specification, displaying principal characteristics of the controlled process in each specific task. The specification of models is determined by the level of management and the documents, corresponding to this level. The model of annual planning includes a set of interrelated process steps (construction areas, structural elements) of the construction of all the orders of the annual program of shipbuilding. To form the calendar nomenclature plans of workshops those models are used, which show the complex of technological packages of the orders construction. A block diagram of the basic organizational procedures is shown in Fig. 2.

The conducted studies and the accumulated production experience have shown that the PAUW system should be based on the design principles and provide a three-level production management. Thus, the system will include shipbuilding facility (order); construction area; structural element; technological package; brigade package (Fig. 3). The basis of the developed PAUW system is the principle of their organizational linkages with the structural breakdown of the shipbuilding facility. An important factor in the suggested PAUW system is the ability to use planning and accounting units of work in the modeling of the process of construction of various floating structures.

To solve the problems of planning and management of the complex and specific production of shipbuilding products it is necessary to use methods of mathematical and network modeling [3, 8].

The mathematical description of the model is based on the use of graph theory. Let each work of the model be the top of the graph. Then the pair of numbers of two adjacent works defines the arc of the graph — (ii''), and the sequence of arcs, where the end of each one coincides with the beginning of the following one, defines the path (Fig. 4).

особенности должны быть учтены при проектировании инструментария системы управления.

Основными объектами в системе управления производством является информация, интегрированная в потоки, описывающие производственные процессы. Управление производством подразделяется на уровни и фазы: планирование; учёт; контроль; анализ и регулирование.

Отличительной особенностью управления судостроительным производством является применение специальной системы планово-учетных единиц работ (ПУЕР) [1, 2]. Создание в судостроении системы ПУЕР обусловлено большой конструктивной сложностью и длительным циклом строительства судостроительных объектов, их необходимостью для организации планирования, учета, контроля и регулирования производства. Система ПУЕР обеспечивает: охват всего количества работ по строительству заказов; технологическую последовательность и комплектность выполнения работ всеми подразделениями предприятия; планирование, контроль и учет выполнения работ; агрегацию информации по уровням управления; автоматизацию процессов информационной обработки производственных показателей. Следует отметить, что проблемам формирования и построения системы ПУЕР в судостроении уделяется большое внимание.

Существующая методика формирования ПУЕР при строительстве судов определяет основные положения этой системы, используемой на судостроительных заводах, и формирует их состав: судно (заказ); технологический этап; цехо-этап; технологический комплект; бригадокомплект. Данная система ориентирована на четырехуровневую структуру управления предприятием, при этом каждому уровню соответствует своя ПУЕР.

Для отображения процессов строительства судов в судостроении используются сетевые модели, обеспечивающие возможность моделирования таких процессов. Сетевая модель процесса создания некоторого объекта, математическим аналогом которой является направленный граф, и процесс управления производством воспроизводятся на ЭВМ комплексом моделирующих алгоритмов [8].

Решение задач управления производством базируется на использовании моделей различной степени детализации, отображающих в каждой конкретной задаче основные характеристики управляемого процесса. Детализация моделей определяется уровнем управления и соответствующими этому уровню документами. Модель годового планирования включает совокупность взаимосвязанных технологических этапов (строительных районов, конструктивных элементов) строительства всех заказов годовой программы по судостроению. Для формирования календарных номенклатурных планов цехов используют модели, отображающие совокупности технологических комплектов строительства заказов. Блок-схема основных организационных процедур приведена на рис. 2.

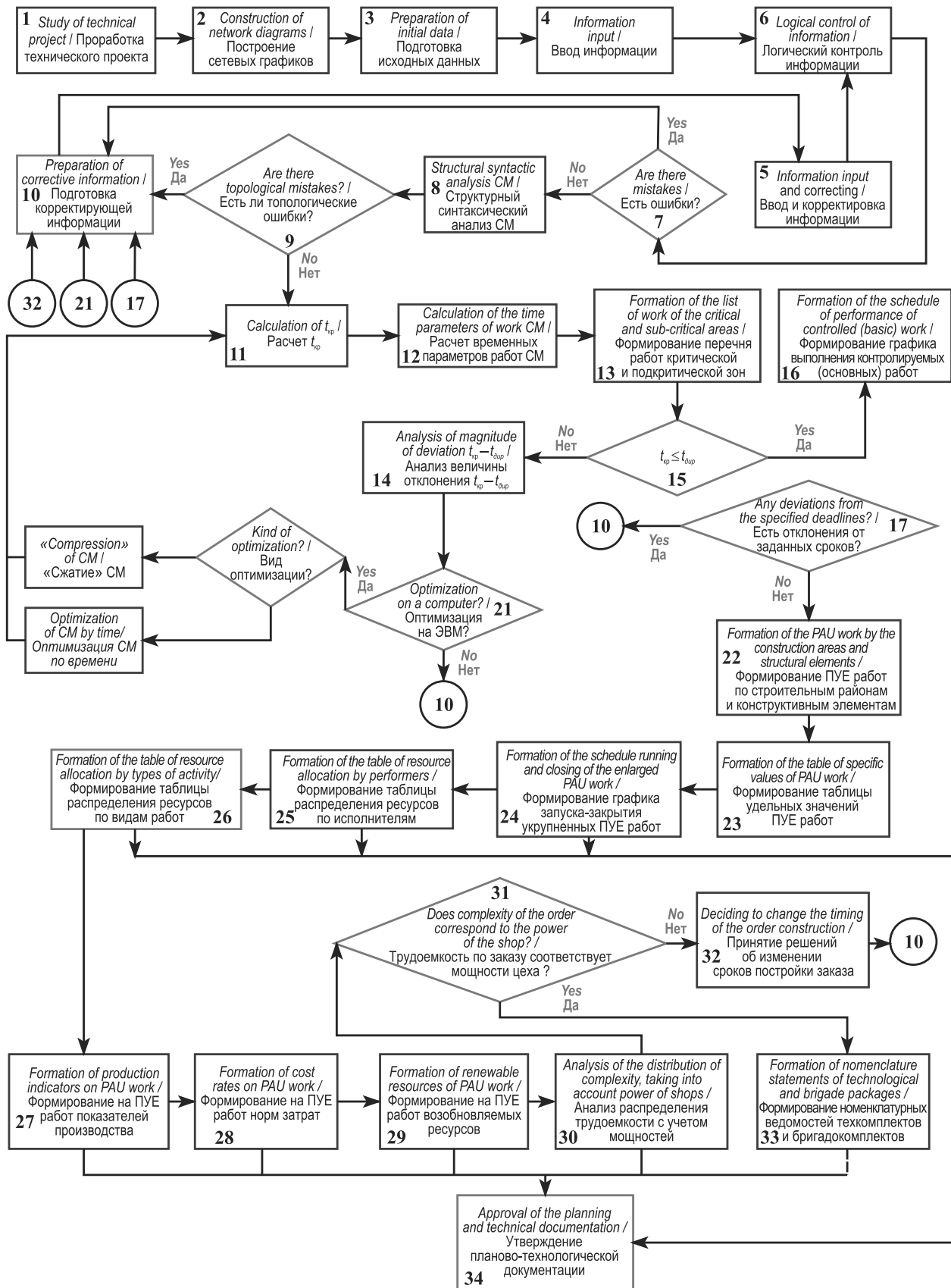


Fig. 2. Block diagram of principal organizational procedures of TPP

Рис. 2. Блок-схема основных организационных процедур ТПП.

The calculation of the arc length $s(ii'')$ can be performed according to the formula:

$$s(ii'') = \varepsilon(ii'') - \begin{cases} \varepsilon(ii''), & \text{если } \lambda(i) = 0, \varepsilon(ii'') > 0, \Delta(i) = 0; \\ \lambda(i), & \text{если } \varepsilon(ii'') > 0, \lambda(i) > 0, \Delta(i) = 0; \\ \varepsilon(ii'') - [\lambda(i) + \Delta(i)], & \\ \text{если } \varepsilon(ii'') > 0, \lambda(i) > 0, \Delta(i) > 0; \end{cases} \quad (1)$$

The total duration of the lengths of the arcs, connecting adjacent work, is the length of the path. The path, which has the maximum length, is critical. The principal timing parameters of the model, displaying the relationship of technological packages in the production processes of the construction of the floating structure with time estimates $\varepsilon(ii'')$, $\lambda(i)$, $\Delta(i)$, $\tau(ii'')$ are early and late start and end dates of work, full time reserve of work and duration of the critical path.

To determine them we use the interdependences of technological packages and time estimates, as well as the duration of the work performance. Moreover, the duration of work $t(i)$ can both be set and defined according to the formulae:

$$t(i) = \frac{l_i^{\Pi}}{8KN(i)}; \quad (2)$$

$$t(i) = \frac{l_i^{\Gamma}}{8N(i)}, \quad (3)$$

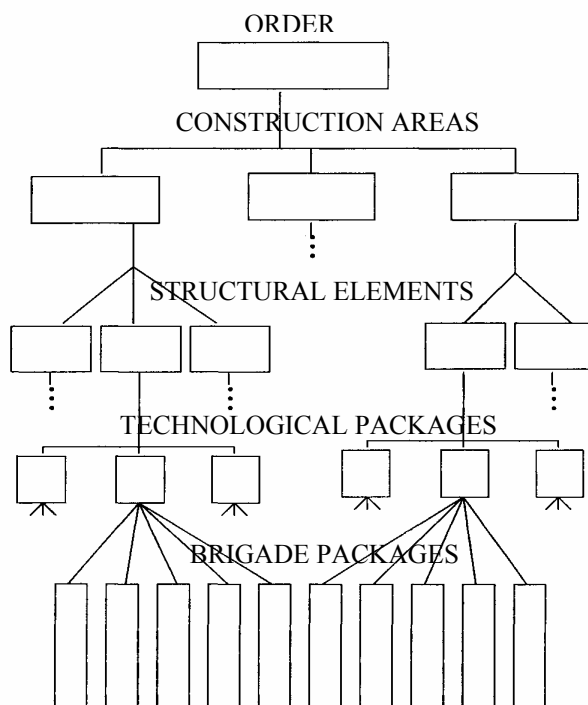


Fig. 3. Structure of PAUW system in the construction of composite and reinforced concrete floating structures:

Рис. 3. Структура системы ПУЕР при строительстве композитных и железобетонных плавучих сооружений:

order — заказ; construction areas — строительные районы; structural elements — конструктивные элементы; technological packages — технологические комплекты; brigade packages — бригадокомплекты

Проведенные исследования и накопленный производственный опыт показали, что система ПУЕР должна строиться на конструктивном принципе и обеспечивать трехуровневое управление производством. Таким образом, система будет включать: судостроительный объект (заказ); строительный район; конструктивный элемент; технологический комплект; бригадокомплект (рис. 3). В основу разработанной системы ПУЕР положен принцип их организационной увязки с конструктивной разбивкой судостроительного объекта. Важным фактором предлагаемой системы ПУЕР является возможность использования планово-учетных единиц работ при моделировании процесса строительства различных плавучих сооружений.

Для решения задач планирования и управления сложным и специфическим производством судостроительной продукции необходимо использовать методы математического и сетевого моделирования [3, 8].

Математическое описание модели основано на использовании теории графов. Пусть каждая работа модели будет вершиной графа. Тогда пара номеров двух смежных работ определяет дугу графа — (ii'') , а последовательность дуг, где конец каждой совпадает с началом следующей, — путь (рис. 4).

Вычисление длины дуги $s(ii'')$ может быть выполнено по формуле:

$$s(ii'') = \varepsilon(ii'') - \begin{cases} \varepsilon(ii''), & \text{если } \lambda(i) = 0, \varepsilon(ii'') > 0, \Delta(i) = 0; \\ \lambda(i), & \text{если } \varepsilon(ii'') > 0, \lambda(i) > 0, \Delta(i) = 0; \\ \varepsilon(ii'') - [\lambda(i) + \Delta(i)], & \\ \text{если } \varepsilon(ii'') > 0, \lambda(i) > 0, \Delta(i) > 0; \end{cases} \quad (1)$$

Суммарная продолжительность длин дуг, связывающих смежные работы — это продолжительность пути. Путь, имеющий максимальную продолжительность, является критическим. Основными временными параметрами модели, отображающей взаимосвязь технологических комплектов в производственных процессах строительства плавучего сооружения с временными оценками $\varepsilon(ii'')$, $\lambda(i)$, $\Delta(i)$, $\tau(ii'')$, являются ранний и поздний сроки начала и окончания работ, полный резерв времени работ и продолжительность критического пути.

Для их определения используются взаимосвязности технологических комплектов и временные оценки, а также продолжительность выполнения работ. Причем, продолжительность работы $t(i)$ может как задаваться, так и определяться по формулам:

$$t(i) = \frac{l_i^{\Pi}}{8KN(i)}; \quad (2)$$

$$t(i) = \frac{l_i^{\Gamma}}{8N(i)}, \quad (3)$$

где: l_i^{Π} — плановая трудоемкость работы i ; l_i^{Γ} — технологическая трудоемкость работы i .

В свою очередь, число рабочих $N(i)$ определяется следующим образом:

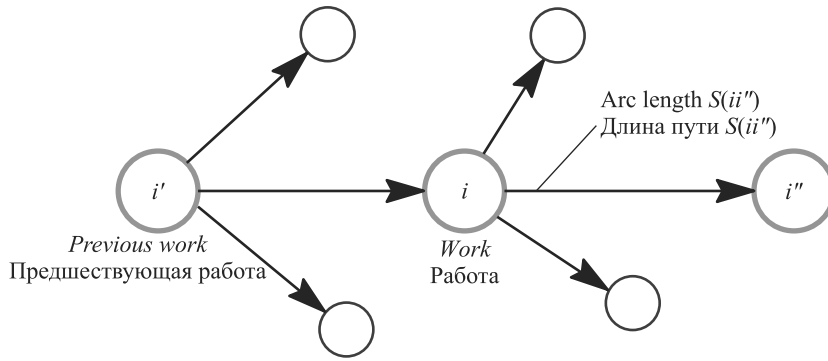


Fig. 4. Image of sequence of work performance in the network model of the "work-tops" type under specified conditions of interrelation of related work

Рис. 4. Изображение последовательности выполнения работ в сетевой модели типа «работы-вершины» при заданных условиях взаимосвязи смежных работ

where: l_i^{Π} is the planned intensity of labour i ; l_i^T is the technological intensity of labour i .

In turn, the number of workers $N(i)$ is determined as follows:

$$N(i) = \begin{cases} N'(i), & \text{если } R' = 1; \\ N''(i), & \text{если } R' = 2; \\ N'(i) + N''(i), & \text{если } R' = 3; \\ 2N'(i) + N''(i), & \text{если } R' = 4; \end{cases} \quad (4)$$

Here R' determines the intensity of labour i . Labour may be performed in 1, 2 and 3 shifts with a minimum or maximum number of workers.

Determination of early and late start and end dates of work after structural syntactic analysis of the model is related to the calculation of the maximum paths $T'(i)$ and $T''(i)$ according to the known Ford algorithm [8]. The initial data for their calculation is the sets of arcs of the graph with their length $\{(ii''), s(ii'')\}$. At that if the work has several relations in the technological model, then in the process of implementation of a unified algorithm we take into account the one that has the maximum value of the arc length $s(ii'')$, determined taking into account the organizational and technological conditions of interrelation of the related work.

Using the obtained values $T'(i)$ and $T''(i)$, let us determine the duration of the critical path:

$$t_j^{KP} = \max \{T'(i) + T''(i)\}. \quad (5)$$

For the initial work of the graph $G(X, U)$ let us assume that $T''(i)$ is equal to 0, and time parameters are determined by the following formulae:

$$t_i^{PH} = 0; \quad (6)$$

$$t_i^{PH} = t_j^{KP} - T'(i); \quad (7)$$

$$t_i^{PO} = t_i; \quad (8)$$

$$t_i^{PO} = t_j^{KP} - T'(i) + t_i; \quad (9)$$

$$R_i^{\Pi} = t_j^{KP} - T'(i). \quad (10)$$

$$N(i) = \begin{cases} N'(i), & \text{если } R' = 1; \\ N''(i), & \text{если } R' = 2; \\ N'(i) + N''(i), & \text{если } R' = 3; \\ 2N'(i) + N''(i), & \text{если } R' = 4; \end{cases} \quad (4)$$

Здесь R' определяет заданную интенсивность выполнения работы i . Работа может выполняться в 1, 2 и 3 смены с минимальным или максимальным количеством рабочих.

Определение ранних и поздних сроков начал и окончаний работ после структурного синтаксического анализа модели связано с вычислением максимальных путей $T'(i)$ и $T''(i)$ по известному алгоритму Форда [8]. Исходными данными для их вычисления являются множества дуг графа с их длиной $\{(ii''), s(ii'')\}$. При этом если в технологической модели работа имеет несколько связей, то в процессе реализации унифицированного алгоритма учитывается та, которая имеет максимальное значение длины дуги $s(ii'')$, определенная с учетом организационно-технологических условий взаимосвязи смежных работ.

Используя полученные значения $T'(i)$ и $T''(i)$, вычислим продолжительность критического пути:

$$t_j^{KP} = \max \{T'(i) + T''(i)\}. \quad (5)$$

Для начальных работ графа $G(X, U)$ полагаем $T''(i) = 0$, а временные параметры определяются по формулам:

$$t_i^{PH} = 0; \quad (6)$$

$$t_i^{PH} = t_j^{KP} - T'(i); \quad (7)$$

$$t_i^{PO} = t_i; \quad (8)$$

$$t_i^{PO} = t_j^{KP} - T'(i) + t_i; \quad (9)$$

$$R_i^{\Pi} = t_j^{KP} - T'(i). \quad (10)$$

Вычисление временных параметров для работ, у которых $T''(i) \neq 0$, выполняется следующим образом:

$$t_i^{PH} = T''(i) - [\lambda(i) + \Delta(i)], \quad (11)$$

The calculation of the time parameters for the work, for which $T''(i) \neq 0$, is performed as follows:

$$t_i^{\text{PH}} = T''(i) - [\lambda(i) + \Delta(i)], \quad (11)$$

$$t_i^{\text{PH}} = t_j^{\text{KP}} - T'(i) - [\lambda(i) + \Delta(i)], \quad (12)$$

$$t_i^{\text{PO}} = \max \left\{ \begin{array}{l} T''(i) + \{t(i) - \lambda(i)\} \\ \max \{t^{\text{PO}}(i') + \tau(ii'')\} \end{array} \right\} \quad (13)$$

$$t_i^{\text{PO}} = \max \left\{ \begin{array}{l} t_j^{\text{KP}} - T'(i) + \{t(i) - \lambda(i)\} \\ \max \{t^{\text{PO}}(i') + \tau(ii'')\} \end{array} \right\} \quad (14)$$

The total reserve time is determined according to the following formula:

$$R_i^{\text{H}} = t_j^{\text{KP}} - [T'(i) + T''(i)]. \quad (15)$$

At the calculation of the model the value of the critical path can depend not on the full implementation of the work on the critical path, but on their partial implementation, opening the front for another work. In such an interpretation of the model one part of the work can belong to the critical path, and the other one can have a reserve, the physical meaning of which is different from the conventional concept of a reserve time of work. This is due to the fact that the arc lengths $s(ii'')$, connecting the adjacent works, are not always equal to their duration $t(i)$. The existing concept of the reserve time of work, calculated as the difference between the late and early dates of work applies only to the part that is determined by the value $s(ii'')$. With regard to the determination of early and late start and end dates of work, they are calculated according to the time estimates $\lambda(i)$, $\Delta(i)$, $\tau(ii'')$. At that if the work has a reserve, it relates to $\lambda(i)$ also.

The costs for construction of the floating structure are mainly caused by the technology and organization of the production process. Therefore, the improvement of TPP and OPP is of particular importance for the reduction of the time of the order construction, as well as the reduction of its production cost [6].

The selection of the method of assembly of reinforced concrete structures in the shop and the hull on the stocks, welding methods, the volumes of pre-saturation and assembly works in sections and blocks do not only affect the value of the total efficiency indicator of the TPP, but also determine the value of the local criteria. Such criteria at the stage of TPP are the periods of construction and labor intensity of the shops under order.

Management of TPP in the construction of composite and reinforced concrete floating structures includes the development of planning and technical documentation, which characterizes the technology and organization of the orders construction, and the PAUW system. As a result of the implementation of functions of TPP a set of planning and technical documentation is developed, which provides the implementation of management of the floating structures construction.

Mathematically, the problem of TPP can be presented as a formal and analytical model. In general terms, the TTP problem is stated as follows: to coordinate the due date and the labour intensity for the order with the resources of the shops to satisfy the condition:

$$t_i^{\text{PH}} = t_j^{\text{KP}} - T'(i) - [\lambda(i) + \Delta(i)], \quad (12)$$

$$t_i^{\text{PO}} = \max \left\{ \begin{array}{l} T''(i) + \{t(i) - \lambda(i)\} \\ \max \{t^{\text{PO}}(i') + \tau(ii'')\} \end{array} \right\} \quad (13)$$

$$t_i^{\text{PO}} = \max \left\{ \begin{array}{l} t_j^{\text{KP}} - T'(i) + \{t(i) - \lambda(i)\} \\ \max \{t^{\text{PO}}(i') + \tau(ii'')\} \end{array} \right\} \quad (14)$$

Полный резерв времени работы определяется по формуле:

$$R_i^{\text{H}} = t_j^{\text{KP}} - [T'(i) + T''(i)]. \quad (15)$$

При расчете модели величина критического пути может зависеть не от полного выполнения работ, лежащих на критическом пути, а от их частичного выполнения, открывающего фронт другим работам. В такой интерпретации модели одна часть работы может принадлежать критическому пути, а другая — иметь резерв, физический смысл которого отличен от общепринятого понятия резерва времени работ. Это связано с тем, что длины дуг $s(ii'')$, связывающие смежные работы, не всегда равны их продолжительности $t(i)$. Существующее понятие резерва времени работы, рассчитываемого как разность между поздним и ранним сроком выполнения работы, относится только к той части, которая определяется величиной $s(ii'')$. Что касается определения ранних и поздних сроков начала и окончания работ, то они вычисляются в зависимости от временных оценок $\lambda(i)$, $\Delta(i)$, $\tau(ii'')$, при этом если часть работы имеет резерв, то он относится и к $\lambda(i)$.

Затраты на постройку плавучего сооружения обуславливаются, в основном, технологией и организацией производственного процесса. Поэтому особое значение для сокращения сроков строительства заказа, а также снижения его себестоимости, приобретает совершенствование ТПП и ОПП [6].

Выбор метода сборки железобетонных конструкций в цехе и корпуса на стапеле, способов сварки, объемов предварительного насыщения и монтажных работ в секциях и блоках не только влияет на величину общего показателя эффективности ТПП, но и определяет значение локальных критериев. Такими критериями на этапе ТПП являются сроки постройки и трудоемкость работ цехов по заказу.

Управление ТПП при строительстве комбинированных и железобетонных плавучих сооружений включает формирование плано-технологической документации, характеризующей технологию и организацию строительства заказов, и систему ПУЕР. В результате реализации функций ТПП создается комплект плано-технологической документации, обеспечивающей реализацию управления строительством плавучих сооружений.

Математически задачу ТПП представим в виде формально-аналитической модели. В общем виде задача ТПП формулируется следующим образом: согласовать директивный срок и трудоемкость выполнения работ по заказу с ресурсами цехов, чтобы выполнялось условие:

$$F = \left| L_j - \sum_{z=1}^{z=m} \sum_{T_0}^{T_{\text{дир}}} l_{iz} \right| \rightarrow \min \forall_i \in G(X, U); \quad (16)$$

$$X = \{x_i\}, i = \overline{1, n}, \quad (17)$$

$$U = \{u_\alpha\}, \alpha = \overline{1, \beta}. \quad (18)$$

When the restrictions are as follows:

1. $t_j^{\text{KP}} \leq t_j^{\text{дир}}$;
2. $\sum_{t=t_0}^{t=t_1} l_{iz} \leq l_j^z, \forall_i: t_i \in [t_0, t_1]$;
3. $t_i^{\text{H}}(k) < t_i(k) < t_i^0(k)$,

where: $T_0, T_{\text{дир}}$ are the start and end dates of work on the order j correspondingly; l_{iz} is the planned labour intensity of the i -th work of the network graph $G(X, U)$; L_j is the given intensity of the order construction j ; t_j^{KP} is the duration of the critical path of the order j ; $t_j^{\text{дир}}$ is the duration of the directive path of the order j ; l_j^z is the acceptable level of the intensity of the shop z at the performance of work on the order j in the interval of time $[t_0, t_1]$; $t_i(k)$ is the work execution period i , limited by the interval of time $[t_i^{\text{H}}(k), t_i^0(k)]$.

In the process of implementation of the goals of TPP different formulations of problems may take place depending on the optimality criterion. The selection of the criterion is determined by technology and characteristics of the floating structures being built. The selected criteria cannot be taken into account at the same time, as in this case the problem of TPP becomes unsolvable. The formation of the original construction schedule of the order is a multi-step process of the continuous improvement of the option of distributing of the labour composition and intensity by the construction stages.

Based on the conducted studies and recommendations issued by the Kherson State Plant "Pallada", which builds composite floating docks and a variety of reinforced concrete floating structures, a three-level structure of production management is adopted. Taking into account this as well as the accumulated experience, we can assume that the most appropriate model is a network model. The PAUW of interdepartmental level, i.e. technological package, will be determined by the work using this model. This model allows us to describe the production activities of workshops and coordinate their work in the process of floating structures construction, which is one of the central tasks of the entire system of production activities of the enterprise.

CONCLUSIONS. 1. It was stated that the three-level system of production management is the most efficient system for the construction of composite and reinforced concrete floating structures. The new PAUW system was developed. On its basis the method of forming PAUW and organizational and technical documentation of the production management were developed.

2. It was determined that for the modeling of the functional tasks it is appropriate to use directed graphs showing the typical fragments of the technical training of the shipbuilding production (CPP, TPP, OPP).

$$F = \left| L_j - \sum_{z=1}^{z=m} \sum_{T_0}^{T_{\text{дир}}} l_{iz} \right| \rightarrow \min \forall_i \in G(X, U); \quad (16)$$

$$X = \{x_i\}, i = \overline{1, n}, \quad (17)$$

$$U = \{u_\alpha\}, \alpha = \overline{1, \beta}. \quad (18)$$

При ограничениях:

1. $t_j^{\text{KP}} \leq t_j^{\text{дир}}$;
2. $\sum_{t=t_0}^{t=t_1} l_{iz} \leq l_j^z, \forall_i: t_i \in [t_0, t_1]$;
3. $t_i^{\text{H}}(k) < t_i(k) < t_i^0(k)$,

где: $T_0, T_{\text{дир}}$ — сроки начала и окончания работ по заказу j соответственно; l_{iz} — плановая трудоемкость i -й работы сетевого графика $G(X, U)$; L_j — заданная трудоемкость постройки заказа j ; t_j^{KP} — продолжительность критического пути заказа j ; $t_j^{\text{дир}}$ — продолжительность директивного пути заказа j ; l_j^z — допустимый уровень трудоемкости цеха z при выполнении работ по заказу j в интервале времени $[t_0, t_1]$; $t_i(k)$ — срок выполнения работы i , ограниченный интервалом времени $[t_i^{\text{H}}(k), t_i^0(k)]$.

В процессе реализации целей ТПП возможны различные постановки задач в зависимости от выбранного критерия оптимальности. Выбор критерия определяется технологией и характеристикой строящегося плавучего сооружения. Выбранные критерии одновременно учесть невозможно, т. к. в этом случае задача ТПП становится неразрешимой. Формирование исходного графика строительства заказа представляет собой многошаговый процесс последовательного улучшения варианта распределения состава и трудоемкости работ по этапам строительства.

На основании проведенных исследований и выданных рекомендаций на ХГЗ «Паллада», строящем композитные плавучие доки и различные железобетонные плавучие сооружения, принята трехуровневая структура управления производством. Учитывая это и накопленный опыт, можно считать, что наиболее целесообразной является сетевая модель, работой в которой будет определена ПУЕР межцехового уровня — технологический комплект. Данная модель позволяет описать производственную деятельность цехов и скоординировать их работу в ходе строительства плавучих сооружений, что является одной из центральных задач всей системы производственной деятельности предприятия.

ВЫВОДЫ. 1. Установлено, что для строительства композитных и железобетонных плавучих сооружений наиболее рациональной является трехуровневая система управления производством. Разработана новая система ПУЕР, а на ее основе — методика формирования ПУЕР и организационно-технической документации управления производством.

2. Определено, что для моделирования функциональных задач целесообразно использовать направленные графы, отображающие типовые фрагменты технической подготовки судостроительного производ-

The probabilistic nature of the production processes in the construction of composite floating structures dictates the need to display them with the probabilistic network models.

3. The mathematical models of the construction of composite and reinforced concrete floating structures were developed, including the calculation of the parameters of the network model, the management of technological preparation for production, the calculation of optimality criteria, the management of the construction process, and allowing to coordinate the production activities of the shops of the plant.

ства (КПП, ТПП, ОПП). Вероятностный характер производственных процессов при строительстве композитных плавучих сооружений диктует необходимость их отображения вероятностными сетевыми моделями.

3. Разработаны математические модели строительства композитных и железобетонных плавучих сооружений, включающие: расчет параметров сетевой модели, управление технологической подготовкой производства, расчет критериев оптимальности, управление процессом строительства — и позволяющие координировать производственную деятельность цехов завода.

Список литературы

- [1] **Арью, А. Р.** Комплексная подготовка производства в судостроении [Текст] / А. Р. Арью. — Л. : Судостроение, 1988. — 336 с.
- [2] **Липис, А. В.** Система планово-учетных единиц судостроительного предприятия и управление производством [Текст] / А. В. Липис, В. А. Рыжов, В. А. Сизов. — Л. : Судостроение, 2002. — № 4. — С. 41–43.
- [3] **Михелев, С. Б.** Автоматизация процессов подготовки производства [Текст] / С. Б. Михелев. — Минск : Беларусь, 1973. — 224 с.
- [4] **Рашковский, А. С.** Проектирование, технология и организация строительства композитных плавучих доков большой подъемной силы [Текст] : монография / А. С. Рашковский, Н. Г. Слуцкий, В. Н. Коннов, А. В. Щедролов, А. Н. Узлов / под науч. ред. А. С. Рашковского. — Николаев : НУК ; РАЛ-полиграфия, 2008. — 614 с.
- [5] **Риммер, А. И.** Подготовка производства в судостроении [Текст] / А. И. Риммер. — Л. : Судостроение, 1976. — 253 с.
- [6] **Слуцкий, Н. Г.** Управление организационно-технологической подготовкой строительства композитных плавучих сооружений [Текст] / Н. Г. Слуцкий // Зб. наук. праць НУК. — Миколаїв : НУК, 2005. — № 4(403). — С. 146–153.
- [7] **Слуцкий, Н. Г., Рашковский, А. С.** Комплексная подготовка производства при строительстве композитных плавучих доков на ХГЗ «Паллада» [Текст] / Н. Г. Слуцкий, А. С. Рашковский // Международный сб. науч. трудов «Прогрессивные технологии и системы машиностроения». — Донецк, 2007. — Вып. 33. — С. 276–282.
- [8] **Ходорковский, Л. М.** Методы информационного отображения процессов производства и управления на судостроительном предприятии [Текст] / Л. М. Ходорковский. — Л. : Судостроение, 1981. — 176 с.

© А. С. Рашковский, Н. В. Цыкало, А. В. Щедролов.

Статью рекомендует в печать
д-р техн. наук, проф. *Ю. Н. Корбанов*

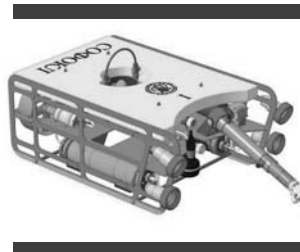


Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПОДВОДНОЙ ТЕХНИКИ

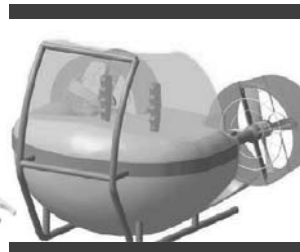
ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ:



Обследование дна и затонувших объектов привязными необитаемыми подводными аппаратами



Разработка и создание необитаемых подводных аппаратов для гражданских и военных целей



Разработка и создание подводных буксировщиков «мокрого» типа



Подготовка технических и научных специалистов в области океанотехники

АДРЕС к. 458, просп. Героев Сталинграда 9, г. Николаев, Украина 54025

E-MAIL volodymyr.blintsov@nuos.edu.ua

ТЕЛЕФОН +38 (0512) 70-91-03

nuos.edu.ua/science/