

## КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПО СИСТЕМНОМУ КРИТЕРИЮ КАЧЕСТВА

С.В. Миклуш, В.Л. Александров, А.В. Алексеев (Санкт-Петербург)

**Введение.** В развитии технологий судостроения все большее значение приобретает цифровизация всех аспектов производства, начиная от создания цифровых двойников изготавливаемых изделий и заканчивая цифровым обликом судостроительного предприятия [1]. В соответствии с этим вектором развития основным направлением становится мониторинг, моделирование и прогнозирование производственных процессов судостроительного предприятия с целью оптимизации технологических процессов, сокращения временных потерь и трудовых издержек [2, 3].

Ввиду большого многообразия, сложности и нелинейности технологических операций в судостроении основополагающую роль в построении систем прогнозирования приобретает интеграция производственных процессов по системным критериям качества как меры их соответствия своему предназначению. Это позволяет создавать цифровые системы поддержки решений, переходить к процедурам роботизации управления.

Развитие современных информационных технологий позволяет осуществлять мониторинг и моделирование производственных процессов судостроительного предприятия практически в реальном режиме времени и минимизировать влияние «человеческого фактора» при сборе, обработке и использовании соответствующей информации.

Современные методы комплексного моделирования и полимодельных технологий [3, 4] позволяют получить обобщенный (агрегированный, интегрированный) показатель качества объекта анализа, характеризующий состояние технологических процессов практически любой сложности и прогнозирующий влияние развития каждого производственного процесса и их совокупности на конечный результат в целом.

Принимая во внимание различные методы моделирования сложных процессов [3], предлагается концепция интеграции производственных процессов при строительстве судового заказа на судостроительном предприятии по системному критерию качества.

**Актуальность.** В соответствии с государственной программой развития (2017 г.) «Цифровая экономика Российской Федерации» [5] и распоряжением Правительства РФ от 6 ноября 2021 г. N 3142-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности» [6] особое значение приобретет цифровая трансформация совокупности аспектов производства промышленных предприятий. Применительно к судостроительной отрасли следует отметить огромное многообразие сложных и нелинейных технологических процессов в производстве, которые, как правило, тяжело поддаются мониторингу и прогнозированию.

Существующие системы планирования проектов и технологических процессов на предприятиях типа Microsoft Project, Primavera, 1С Предприятие, имея функцию отслеживания, тем не менее не позволяют мониторить состояние производственных

процессов, оценивать влияние составных частей проекта, а тем более проекта в целом, на достижение конечного результата. Более того, в них отсутствует даже подобие систем поддержки принятия управленческого решения, что при строительстве судов и кораблей имеет первостепенное значение для принятия своевременных и эффективных решений во избежание срыва сроков строительства и появления дополнительных издержек.

Особо следует отметить назревшую необходимость в импортозамещении цифровых продуктов планирования производства, поставляемых из недружественных стран, для обеспечения непрерывности и стабильности выполнения государственных заказов на строительство судов и кораблей, технологической и цифровой независимости от возможных перебоев в технической поддержке от иностранных поставщиков.

**Постановка задачи.** Существующие в современном судостроении технологии производственных процессов имеют многосоставную структуру и большое количество взаимопроникновений, взаимозависимостей, вследствие чего появляются проблемы для мониторинга и прогнозирования развития строительства судового заказа в целом. Для формирования цифрового представления о степени продвижения строительства судового заказа целесообразно оценивать обобщенный (агрегированный, интегральный) показатель качества (АПК) [7, 8] на основе свертки частных показателей качества (ЧПК) всех производственных процессов, входящих в процесс формирования заказа. Это позволяет моделировать и прогнозировать результативность (успешность) строительства заказа в целом на заданный срок его сдачи заказчику и с заданным им качеством [9, 10].

При этом основными задачами, решаемыми с использованием модели оценки АПК производственного процесса строительства судового заказа, должны быть:

- предоставление исчерпывающей информации о состоянии производственных процессов, позволяющее сформировать массив частных показателей качества (ЧПК);
- представление исчерпывающей информации об отношении предпочтений между ЧПК, позволяющее сформировать массив индексов их критериальной значимости (ИКЗ, весовых коэффициентов);
- формирование оценок групповых показателей качества (ГПК) строительства, объединяющих однотипные технологии и процессы на различных этапах строительства заказа и характеризующих соответствующие свойства строительства заказа;
- формирование оценки АПК строительства заказа в целом на основе агрегирования ЧПК в ГПК и ГПК в АПК с учетом соответствующей матрицы (модели) ИКЗ;
- прогнозирование на основе данных мониторинга влияния и оценки состояния производственных процессов, ЧПК, ГПК и АПК на результативность заказа в целом;
- формирование соответствующих альтернативных вариантов (предложений) для поддержки и принятия решений (корректирующих решений) руководителями строительства заказа.

**Предлагаемое решение задачи.** Весь процесс постройки судового заказа целесообразно рассматривать в объеме соответствующих построечных (ПУ) и швартовных удостоверений (ШУ). Каждое удостоверение включает в себя определенный набор технологической документации (чертежей, схем, методик испытаний и т. п.), которые в совокупности определяют всю номенклатуру и комплекс требований к технологическим процессам формирования судового заказа.

При этом необходимо обеспечить мониторинг продвижения работ по каждому документу (комплексной задаче) с фиксацией результата в практически реальном

режиме времени и по возможности исключая максимально негативное влияние субъективных свойств операторов (так называемого «человеческого фактора»).

С этой целью предлагается использовать технологию радиочастотной идентификации (РЧИ) [11], что позволяет автоматизировать процесс сбора информации о нахождении составных изделий, комплектующих, приборов и оборудования судовых систем и конструкций, входящих в определенные комплексы технологических процессов.

В случае невозможности автоматизированного мониторинга продвижения работ по технологическому процессу ответственный исполнитель или сотрудник управления качества «собственноручно» подтверждает степень продвижения работ. Фактическое выполнение в полном объеме работ по документам определяется приемкой заказчиком с последующим подписанием и закрытием данного документа.

Для формирования полного охвата технологических процессов строительства судового заказа предлагается использовать следующие ЧПК, объединенные в ГПК:

1) корпусные ПУ, в количестве 30 шт. (наименований с соответствующими ЧПК);

2) достроечные ПУ, в количестве 50 шт.;

3) механические ПУ, в количестве 68 шт.;

4) электрические ПУ, в количестве 97 шт.;

5) ШУ оборудования помещений, в количестве 30 шт.;

6) ШУ судовых устройств, в количестве 29 шт.;

7) ШУ судовых систем, в количестве 25 шт.;

8) ШУ энергетической установки, в количестве 35 шт.;

9) ШУ электротехнической части, в количестве 24 шт.;

10) ШУ средств связи, навигации и автоматизации, в количестве 55 шт.

Принимая во внимание сложность и многообразие входящих компонентов, методологией анализа таких сложных систем целесообразно считать квалиметрический анализ, синтез и оптимизацию [12, 13]. Для получения и предоставления операторам в цифровом виде систематизированных данных по заказу приведенные ЧПК агрегируются в соответствующие (порядка 10) ГПК, на основании которых формируется обобщенный показатель (АПК) – ожидаемая результативность строительства заказа.

На рис. 1 приведена главная экранная форма макетно-действующего (технологического) образца программного комплекса «Заказ БМТ «Механик Сизов», реализующего данную модель.

В предложенной модели цифровизации и интеграции производственных процессов реализована функция мониторинга (непрерывного наблюдения за состоянием строительства заказа как по отдельным задачам, так и по всему заказу в целом), прогнозирования на основе регрессионного анализа данных мониторинга и контроля (с цветовой сигнализацией) ожидаемой результативности строительства заказа (успешности его реализации), позволяющего анализировать развитие производственных процессов во времени при различной степени продвижения работ по каждому процессу.

Контрольные уровни цветовой сигнализации для ЧПК, ГПК и АПК выбираются, например, по схеме: 90%...100% успешности завершения процесса (решаемой задачи) с заданным качеством и в назначенный срок – выполнение требований (зеленый цвет); 80%...90% – угроза невыполнения требований (желтый цвет); 55%...80% – невыполнение требований (красный цвет); 50%...55% – угроза потери управления (серый цвет); менее 50% – потеря управления (черный цвет).

Этапы ЖЦ	Решаемые задачи	ИКЗ (важность), %	Руководитель, исполнители	Начало	Окончание	Текущий результат	Прогноз по задаче	
	<b>Критерий (АПК) строительства заказа:</b>				01.03.20	30.08.23	81,8	88,3
	<b>Проект решения</b>		<i>Угроза невыполнения требований</i>		<i>Заменить руководителя проекта</i>			
	<i>Отставание, резерв(дней)/Рекомендуемое текущее значение:</i>					<i>-121</i>	<i>91,20</i>	<i>п</i>
	1. Корпусные ПУ, в количестве 30 шт.	10,0%		01.03.20	31.05.23	96,8	99,3	
	2. Достроечные ПУ, в количестве 50 шт.	12,5%		01.04.21	31.05.23	89,9	91,8	
	3. Механические ПУ, в количестве 68 шт.	15,0%		01.03.20	30.05.23	88,5	87,8	
	4. Электрические ПУ, в количестве 97 шт.	15,0%		01.02.21	30.06.23	64,6	65,1	
	5. ШУ оборудовани помещений, в количестве 30 шт.	5,0%		01.01.23	30.08.23	92,3	93,2	
	6. ШУ судовы устройств , в количестве 29 шт.	5,0%		01.10.22	30.06.23	95,3	96,5	
7. ШУ судовых систем , в количестве 25 шт.	10,0%		01.10.22	30.07.23	53,3	84,8		
8 ШУ энергетической установки, в количестве 35 шт.	12,5%		01.09.22	30.06.23	92,2	94,0		
9. ШУ электротехнической части, в количестве 24 шт.	10,0%		01.11.22	30.06.23	87,7	96,3		
10. ШУ средства связи, навигации и автоматизации, 55 шт.	5,0%		01.12.22	30.07.23	71,0	98,7		

Рис. 1. Интерфейс ПК «Заказ БМТ «Механик Сизов», реализующего модель строительства судового заказа

Сами процессы логически связаны в цепочки: дата окончания одного производственного процесса автоматически определяет начальный срок для одного или нескольких следующих по технологической последовательности процессов.

В предлагаемой модели также заложены элементы системы поддержки принятия управленческих решений [8]: при недостижении предустановленных уровней продвижения по отдельным производственным процессам или группам, влияющих на выполнение конечного результата строительства заказа в установленные сроки, активируются предупреждения и соответствующие рекомендации по принятию корректирующих управленческих действий (см. рис. 1).

В зависимости от содержания, значимости и данных в квалиметрической базе данных и знаний (КБДЗ) по исполнителям работ в качестве типовых вариантов проектов решений, например, могут быть: 90...100% успешности завершения процесса (решаемой задачи) с заданным качеством и в назначенный срок – «Задача успешно решается»; 80...90% – «Угроза невыполнения требований. Запросите конкретную помощь»; 50...55% – «Невыполнение требований. Предупреждаю о НСС»; 50...55% – «Угроза потери управления. Временно передайте управление (ФИО)»; менее 50% – «Невыполнение требований. До ... ч ... мин передать управление (ФИО)».

На основе расчета требуемого процента продвижения работ по выполнению технологических процессов производится оценка (цифровизация) задержки или запаса времени строительства заказа, что имеет большое значение при планировании загрузки производственных мощностей предприятия и формировании корректирующих действий в случае отставания от запланированных сроков строительства.

На рис. 2 приведена детализация производственных технологических процессов, связанных, например, с корпусными работами (на рис. 1 соответствует позиции «1. Корпусные ПУ...») в виде перечня соответствующих ПУ со сроками начала и окончания работ (цифровизация процессов) по каждому документу, текущим результатам выполнения работ, прогнозируемым значениям на конечные сроки и агрегируемым показателем результативности (ГПК-1) по всей группе корпусных производственных процессов.

Особое внимание при адаптации модели к условиям реализации следует уделить выбору ИКЗ (весовых коэффициентов), определяющих степень важности составных технологических процессов в формировании конечного результата, как в технологических группах, так и при оценке результативности строительства всего заказа. Одним из вариантов определения (цифровизации) значений этих коэффициентов можно предложить принцип: пропорционально запланированной трудоемкости на выполнение соответствующих технологических процессов постройки заказа, что позволит оптимизировать и прогнозировать потребность в трудовых ресурсах на весь цикл строительства.

Этапы	Решаемые задачи	ИИЗ (важность) %	Руководитель, исполнитель	Начало	Окончание	Текущий результат	Плановое значение
<b>Критерий (ГПК). Ожидаемая результативность, %:</b>				01.03.20	31.05.23	96,8	99,3
<b>Проект решения</b>		<b>Цель достигается</b>		<b>Действовать по плану</b>			
<i>Отставание, резерв(дней)/Рекомендуемое текущее значение:</i>					<b>-16</b>	<b>98,19</b>	<b>»</b>
ГПК по этапам ИИЗ на стадии постройки	1. УП-1 Сборка, сварка и конструкция секций основного	4,0%		30.06.20	30.03.21	100,0	100,0
	2. УП-2 Сборка, сварка и конструкция секций на верхней	3,0%		30.03.21	30.12.21	100,0	100,0
	3. УП-4 Закладка судна	2,0%		01.03.20	30.06.20	100,0	100,0
	4. УП-5 Установка и сварка секций на стапеле	2,0%		01.02.21	10.10.21	100,0	100,0
	5. УП-6 Установка и сварка туннеля носового	1,0%		01.02.21	30.04.21	100,0	100,0
	6. УП-8 Изготовление, установка и сварка корпусных	2,0%		01.09.21	10.10.21	100,0	100,0
	7. УП-9 Качество сварных швов корпуса по результатам	4,0%		10.10.20	10.10.21	100,0	100,0
	8. УП-10 Конструкция помещений группы «А» корпуса и	10,0%		01.06.22	30.12.22	100,0	100,0
	9. УП-11 Конструкция помещений группы «Б» корпуса и	14,0%		01.01.23	30.05.23	85,0	98,5
	10. УП-12 Установка и испытания на непроницаемость	1,0%		01.02.21	30.03.21	100,0	100,0
	11. УП-13 Непроницаемость монтажных швов в НО корпуса	3,0%		01.02.21	10.10.21	100,0	100,0
	12. УП-14 Непроницаемость кингстонных ящиков, канала	2,0%		01.04.21	30.06.21	100,0	100,0
	13. УП-15 Непроницаемость помещений группы «А»,	7,0%		01.07.21	30.12.21	100,0	100,0
	14. УП-16 Непроницаемость монтажных швов в НО до	3,0%		01.09.20	30.03.21	100,0	100,0
	15. УП-17 Непроницаемость помещений группы «А», не	5,0%		01.09.21	30.12.21	100,0	100,0
	16. УП-18 Непроницаемость помещений группы «Б»	10,0%		01.05.22	30.05.23	90,0	94,9
	17. УП-19 Установка донных частей лага и экзолота, донных	2,0%		01.02.21	30.03.21	100,0	100,0
	18. УП-21,22,23 Установка фундаментов	5,0%		01.04.21	30.12.21	100,0	100,0
	19. УП-24 Непроницаемость главных водонепроницаемых	2,0%		01.09.21	10.10.21	100,0	100,0
	20. УП-25 Протекторная защита корпуса	2,0%		01.09.21	10.10.21	100,0	100,0
	21. УП-26 Установка и испытание на непроницаемость	2,0%		01.01.21	30.03.21	100,0	100,0
	22. УП-27 Предварительная окраска днищевых секций на	2,0%		01.01.21	30.07.21	100,0	100,0
	23. УП-28 Главные размеры, проверка килевой линии	1,0%		01.04.21	30.05.21	100,0	100,0
	24. УП-29 Заварка и неразрушающий контроль	3,0%		01.04.22	15.04.23	100,0	100,0
	25. УП-30 Маркировки	1,0%		01.11.20	30.06.21	100,0	100,0
	26. УП-31 Грузовая марка и знаки	1,0%		01.05.21	30.07.21	100,0	100,0
	27. УП-32 Нанесение надписей названия судна и порта	1,0%		01.06.21	30.07.21	100,0	100,0
	28. УП-33 Готовность судна перед спуском на воду	2,0%		01.04.21	30.07.21	100,0	100,0
	29. УП-35 Установка и приварка контрольных площадок,	1,0%		01.05.21	30.06.21	100,0	100,0
	30. УП-36 Тарировка цистерн и определение «мертвых	2,0%		01.01.23	28.02.23	100,0	100,0

Рис. 2. Интерфейс детализации корпусных работ (ГПК-1 на рис. 1)

Предлагаемая «концепция цифровизации выполнения заказа» и соответствующий подход к интеграции производственных процессов при строительстве заказов судостроительного предприятия позволяют систематизировать и цифровизовать большое число разнородных технологических процессов, привести их к единому показателю качества заказа – АПК, представляющего собой численное значение обобщенного критерия. Это дает возможность мониторить

продвижение работ в практически реальном режиме времени и, более того, прогнозировать развитие различных сценариев строительства судового заказа, выбирать оптимальный из них для реализации.

Дальнейшим развитием предложенной модели и программного комплекса ее реализации авторы видят возможность масштабирования данного решения на группу заказов с соответствующей цифровизацией и автоматизацией процессов управления ресурсами по технологии РЧИ, а также по технологии цифровых двойников.

### **Заключение**

В результате проведенных исследований предложена концепция цифровизации развития судостроительного предприятия, основанная на интеграции производственных процессов по системному критерию качества. Сформирована типовая система критериев оценки качества строительства судостроительного заказа.

Для оценки АПК строительства заказа выбрана методология квалиметрического анализа, синтеза и оптимизации, как наиболее приемлемая и практически безальтернативная для сложносоставных и разнородных процессов судостроительного заказа.

Представлена модель интерфейса программы мониторинга и прогнозирования технологического процесса строительства судового заказа с функцией информационно-аналитической и интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений.

Предложенный вариант концепции развития судостроительного предприятия и программный комплекс ее реализации на основе интеграции производственных процессов по системному критерию качества позволяет осуществить интеграцию практически всего комплекса производственных процессов судостроительного предприятия и тем самым, по нашему мнению, повысить качество управленческих решений для обеспечения минимизации издержек и выполнения строительства заказа в установленные сроки.

### **Литература**

1. **Прохоров А., Лысачев М.** Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. Издание первое, исправленное и дополненное. М.: ООО «АльянсПринт», 2020. 401 с.
2. **Худяков Л. Ю.** Исследовательское проектирование кораблей. Л.: Судостроение, 1980. 324 с.
3. **Михальчук А.В., Карпов А.Е., Орлов К.М., Каганский М.А.** Практика реализации полимодельного квалиметрического метода системной инвариантной оценки качества и эффективности объектов морской техники // Перспективные направления развития отечественных информационных технологий: материалы VIII Межрегиональной научно-практической конф. Севастополь, 20–24 сентября 2022 г. Севастополь: СевГУ, 2022, с. 131–136.
4. **Алексеев А. В.** Концептуальные аспекты развития критических объектов морской техники и морской инфраструктуры // Морские интеллектуальные технологии. 2015. Т. 1. № 2 (28). С. 48–58.
5. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации», утв. Распоряжением Правительства РФ 28 июля 2017 г. № 1632-р.
6. Распоряжение Правительства РФ «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности» от 6 ноября 2021 г. N 3142-р.
7. **Александров В.Л., Алексеев А.В., Поляничко В.В., Ходан С.В.** Проблема организационно-технического мониторинга, прогнозирования и управления жизненным циклом // IV Международная научно-практическая конференция

«Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем» (ИКМ МТМТС-2017). Труды конференции. СПб.: АО «ЦТСС», 2017. С. 11–15.

8. **Александров В.Л., Алексеев А.В.** Теория практики квалиметрического обеспечения конкурентной способности и перспективности развития объектов морской техники и морской инфраструктуры // VIII Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2017). 18–20 октября 2017 г. Труды конференции. СПб.: НОИМ, 2017. С. 74–79.
9. **Алексеев А.В., Карпов А.Е., Александров В.Л.** Оценка валидности системного имитационного моделирования сложных процессов организационно-технического управления критическими объектами морской техники // VIII Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2017). 18–20 октября 2017 г. Труды конференции. СПб.: НОИМ, 2017. С. 74–75.
10. **Александров В.Л., Алексеев А.В.** Модель и обоснование предложений в Программу цифровой трансформации корабельной энергетики // Актуальные проблемы морской энергетики: материалы VIII Международной научно-технической конференции в рамках III Всероссийского научно-технического форума «Корабельная энергетика: из прошлого в будущее». СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2019. С. 15–23.
11. **Зиборов И.А.** Применения RFID технологий в деятельности различных субъектах хозяйствования // Молодой ученый. 2009. Вып. 12 (12). С. 17–22.
12. **Алексеев А.В.** Примеры реализации полимодельного квалиметрического метода системной оптимизации объектов морской техники и морской инфраструктуры // Морские интеллектуальные технологии/Marine Intellectual Technologies. 2021. Vol. 3, N 2 (52). P. 69–81.
13. **Смольников А.В., Сус Г.Н., Ушакова Н.П.** Когнитивные технологии системы поддержки принятия решений и управления борьбой за живучесть корабля, судна // Системы управления и обработки информации: научн.-техн. сб./АО «Концерн «НПО «Аврора». СПб, 2019. Вып. 3(46). С. 18–27.