

УДК 629.12:

ПОДХОДЫ К НОРМИРОВАНИЮ ОСТОЙЧИВОСТИ ПЛАВКРАНОВ В ПРИБРЕЖНЫХ МОРСКИХ РАЙОНАХ ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЕЙ

Лукина Евгения Александровна¹, кандидат технических наук, доцент

e-mail: evair@yandex.ru

Волский Петр Николаевич¹, магистрант

e-mail: pitter.volski@mail.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Данная работа анализирует требования к остойчивости при проектировании плавучих кранов (ПК), представленные в правилах Российского классификационного общества (РКО) и Российского морского регистра судоходства (РМРС). Составлена таблицы соответствия районов эксплуатации ПК с морским классом и классом для внутренних водных путей (ВВП). Проведён сравнительный анализ требований к остойчивости плавкранов указанных классов. Выражены опасения о возможности предъявления различных (в т.ч. сниженных) требований к остойчивости плавкранов, эксплуатирующихся в одних и тех же районах ВВП. Проанализирован состав и некоторые характеристики флота ПК в России на 2025 г.

Ключевые слова: Плавучий кран, РКО, РМРС, требования к остойчивости, М-СП 3,5; R3-RSN, районы эксплуатации, состав флота плавкранов.

APPROACHES TO REGULATING THE STABILITY OF FLOATING CRANES IN COASTAL AREAS OF INLAND WATERWAYS

Evgeniya A. Lukina¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

e-mail: evair@yandex.ru

Peter N. Volsky¹, Master's Degree student

e-mail: pitter.volski@mail.ru

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. This work analyzes the requirements for stability in the design of floating cranes (FC), presented in the Russian Classification Society (RCS) and Russian Maritime Register of Shipping (RMRS) rules. A table has been compiled to match the operating areas of FC with the marine class and the class for inland waterways (IWW). A comparative analysis of the requirements for stability of floating cranes of these classes has been carried out. Concerns have been expressed about the possibility of imposing different (including reduced) requirements for stability of floating cranes operating in the same areas of IWW. The composition and some characteristics of the FC-fleet in Russia for 2023-2025 have been analyzed.

Keywords: Floating crane, Russian Classification Society (RCS), Russian Maritime Register of Shipping (RMRS), stability requirements, M-СП 3.5, R3-RSN, areas of operation, the composition of the floating crane fleet.

Введение

С середины двадцатого века началось массовое производство плавучих кранов (ПК), так как необходимо было осваивать месторождения ресурсов шельфовой зоны, а также для возведения гидротехнических сооружений внутри страны, работы в портах. Так и на сегодняшний день, предстоит повышенная потребность в ПК для вновь актуального освоения Северного морского пути и создания по его трассе портов, обновление гидротехнических сооружений и портов на ВВП и в прибрежных морских районах России.

Для работы в прибрежных зонах морей России допускаются суда с классами РКО и с морскими классами РМРС. В Правилах классификации и постройки к ним предъявляются различные требования к остойчивости. Однако анализ районов эксплуатации показал совпадения по многим прибрежным участкам внутренних и открытых морей.

Для дальнейших исследований взаимосвязи параметров корпуса ПК и их гидродинамических характеристик, влияющих на остойчивость ПК, был проведён анализ флота плавкранов России.

Анализ требований российских классификационных обществ к остойчивости плавучих кранов

В РКО нормирование остойчивости плавкранов внутреннего плавания (ВВП) рассмотрено в «Правилах классификации и постройки судов (ПКПС)» [1]. Остойчивость плавкранов с морским классом нормируется в «Правилах классификации и постройки морских судов (ПКПМС)» [2].

Соответствие районов плавания прослеживается для судов смешанного (река-море) плавания классов М-СП 3,5 и М-СП 4,5 по классификации ПКПС, и судов со знаками ограничения районов плавания R3-RSN и R2-RSN (4,5) по классификации ПКПМС. Суда указанных классов предназначены для эксплуатации в бассейнах с высотой волны 3%-ной обеспеченности $h_{3\%} = 3,5$ м и $h_{3\%} = 4,5$ м с учетом конкретных ограничений по району и условиям плавания.

Из рассмотрения районов плавания (ПКПС Часть 0 таблица 7.8-1) и (ПКПМС Часть I таблица 2.2.5.3) можно сказать, что суда классов М-СП 3,5; М-СП 4,5 и классов R3-RSN; R2-RSN (4,5) могут эксплуатироваться в одних и тех же районах соответственно. Соответствие водных бассейнов по некоторым морям представлено в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение районов эксплуатации ПК с классом РКО и РМРС

Наименование бассейна	Перечень морских бассейнов для установления районов плавания судов М-СП 3,5 (класс РКО)	Географические границы для судов смешанного река-море плавания R3-RSN (класс РМРС)	Сезон плавания
1. Азовское море	Без ограничений	Без ограничений	Круглогодично
2. Балтийское море	Без ограничений, включая Ботнический, Финский и Рижский заливы; проливы Зунд, Большой и Малый Бельт, Каттегат южнее параллели 57°45'00,0" с. ш	Без ограничений, включая Ботнический, Финский и Рижский заливы; проливы Зунд, Большой Бельт и Малый Бельт, Каттегат южнее параллели 57°45' с.ш.	Круглогодично



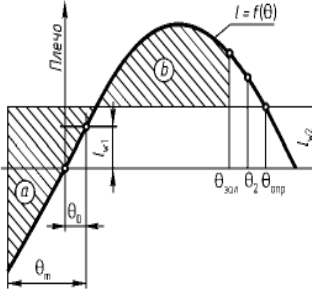
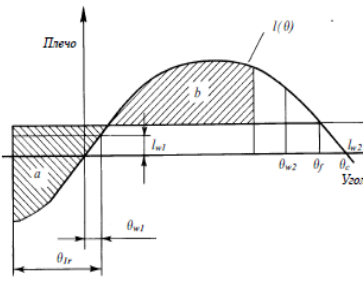
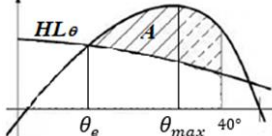
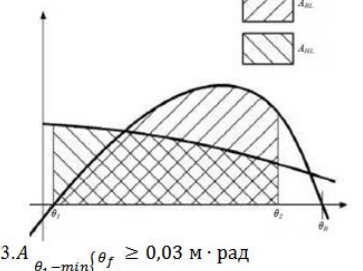
3.Баренцево море	20-мильная прибрежная зона вдоль юж. побережья от м. Святой Нос (Тиманский) до Печорской губы с заходом в б. Ременка на юж. побережье о-ва Колгуев	20-мильная прибрежная зона вдоль южного побережья от мыса Святой Нос (Тиманский) до Печорской губы с заходом в бухту Ременка на южном побережье острова Колгуев	Июнь – сентябрь
	20-мильная прибрежная зона вдоль юж. побережья от Печорской губы до пр. Югорский Шар; Печорская губа; Хайпудырская губа	20-мильная прибрежная зона вдоль южного побережья от Печорской губы до пролива Югорский Шар; Печорская губа; Хайпудырская губа; пролив Югорский Шар	Июнь – октябрь
...	...	...	...
11.Охотское и Японское моря	Татарский пр. и Амурский лиман севернее линии, соединяющей мор. порт Советская Гавань с г. Углегорск до линии, соединяющей м. Меньшикова с м. Тамлаво	Татарский пролив и Амурский лиман севернее линии, соединяющей морской порт Советская Гавань с городом Углегорск до линии, соединяющей мыс Меньшикова с мысом Тамлаво	Июнь – октябрь

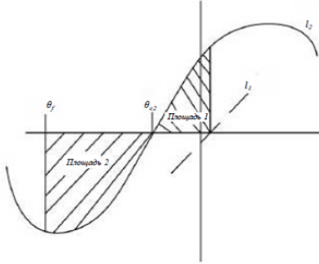
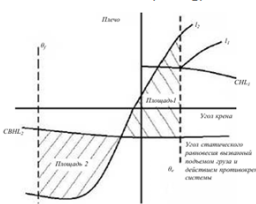
Из этого следует, что в одних и тех же условиях эксплуатации могут оказаться суда, проверенные по требованиям к остойчивости для морских судов, и суда с классом для ВВП, для которых требования к остойчивости ограничены. Это ведет к опасности, что остойчивость судна (в т.ч. плавкрана) с классом для ВВП может оказаться ниже, нежели остойчивость ПК с морским классом, при работе в одном водном бассейне.

Требования к остойчивости плавучих кранов приведены в п.3.5 Части II ПКПС (РКО) и в разделе 4 Части IV ПКПМС (РКО, РМРС) [3]. Сравнительный анализ этих требований приведён в таблице 2.

Таблица 2. Требования РКО к остойчивости плавкранов

Требования к остойчивости	Критерии п.3.5 ПКПС РКО	Критерии раздела 4 Части IV ПКПМС РКО	Альтернативные критерии п.4 Части IV ПКПМС РКО
1	2	3	4
1.Случай нагрузки ПК	С грузом на гаке при 10% запасов воды и топлива	.1 с полным грузом, с полными запасами; .2 с полным грузом, с 10 % запасов; .3 без груза, с полными запасами; .4 без груза, с 10 % запасов.	То же из столбца 3

2. Проверка по основному (общему) критерию	$M_{кр} < M'_{доп}$	Критерий погоды $K \geq 1$, где $K = b/a$	То же из столбца 3
2.1. при всех возможных вылетах стрелы с грузом на гаке ПК имеет угол статического крена	$\theta_{ст} < 3^\circ 30'$	$\theta_{ст} \leq \begin{cases} 16^\circ, \\ 0,8 \theta_{зал} \\ \theta_{плб} \end{cases}$	То же из столбца 3
2.2. Кренящий момент от динамического давления ветра	$M_{кр} = 0,001 \cdot p \cdot S \cdot z$ при $p = 400$ Па	от постоянно действующего ветра $l_{w1} = p_v A_v Z_v / 1000 g \Delta$, при $p = 119$ Па; от ветрового шквала l_{w2} $l_{w2} = (1 + m) l_{w1}$	То же из столбца 3
2.3. Предельно допустимый кренящий момент $M'_{доп}$ определяется предельно допустимым углом крена			То же из столбца 3
3. Дополнительные критерии устойчивости	Не регламентирует	1. $\theta_1 \leq \theta_{оборуд}^{доп}$ 2. Для закрытой акватории $f \geq 0.5$ м 3. Для открытой акватории $f \geq \max \begin{cases} 1.0 \text{ м} \\ 0.75 \cdot h_{3\%} \end{cases}$	1. $HM_\theta = P_L \cdot y \cdot \cos \theta$ $HL_\theta = HM_\theta \div \Delta$  • Для открытой акватории: $A_{\theta_e - \min} \begin{cases} \theta_{max} \\ 40^\circ \end{cases} \geq 0,080 \text{ м} \cdot \text{рад}$ • Для закрытой акватории $A_{\theta_e - \min} \begin{cases} \theta_{max} \\ 40^\circ \end{cases} \geq 0,053 \text{ м} \cdot \text{рад}$
4. Дополнительные критерии для эксплуатационных и погодных ограничений	Не регламентирует	1. Кромка наиболее высокой непрерывной палубы не должна погружаться в воду 2. $A_{RL} \geq 1,40 \cdot A_{HL}$  3. $A_{\theta_1 - \min} \begin{cases} \theta_f \\ 20^\circ \end{cases} \geq 0,03 \text{ м} \cdot \text{рад}$	2. $\theta_{ст} \leq \begin{cases} 10^\circ \\ \theta_{плб} \\ \theta_{доп}^{оборуд} \end{cases}$

5.Проверка при обрыве груза	Не регламентирует	 1.Для открытой акватории Площадь2 ≥ 1,40 Площади 1 2.Для закрытой акватории Площадь2 ≥ 1,00 Площади 1	$CHL_1 = \frac{(P_L \cdot y - CBM) \cdot \cos \theta}{\Delta}$ $CHL_2 = \frac{CBM \cdot \cos \theta}{(\Delta - P_L)}$  Площадь 2 – Площади 1 > K
-----------------------------	-------------------	--	---

Требования к остойчивости плавучих кранов класса РМРС состоят из общих требований к остойчивости – критерия погоды при статическом и динамическом приложении ветра; а также из дополнительных требований. При этом дополнительными критериями остойчивости являются параметры посадки ПК при выполнении грузовых операций. Отдельно предъявляются требования к остойчивости ПК при обрыве груза. Эти дополнительные критерии ПКПС не регламентирует.

Исходя из анализа приведенных требований, можно сделать вывод, что к плавкранам для ВВП ПКПС предъявляют меньшие требования к остойчивости. Данный факт может привести к потере остойчивости плавкранами с классом для ВВП, в ситуациях, не рассмотренных при проектировании. Дополнительно может существовать тенденция прохождения более легкой в части остойчивости процедуры классификации под класс М-СП 3,5 и М-СП 4,5 чем под классы R3-RSN и R2-RSN (4,5) соответственно для судов, предназначенных к эксплуатации в одних и тех же районах плавания.

В Российском морском регистре судоходства ситуация с нормативными требованиями для плавкранов ВВП и морских аналогичная.

Анализ флота плавучих кранов

С целью выявления характеристик ПК был проведен анализ состава флота по плавучим кранам. По данным Регистровой книги 2025 [4] на учёте РКО зарегистрированы 941 ед. ПК и крановых судов различных типов и классов. Для анализа составлена выборка из 102 единиц плавкранов 42 проектов. Также рассмотрены данные реестровой книги Агентства Росморречфлот на 2025 год [5].

Посредством сортировки по характеристикам и построения гистограмм было показано распределение проектов ПК по значениям водоизмещения D, т, грузоподъёмности P, т и другим характеристикам. Определено, что 90% ПК с классом РКО имеют грузоподъёмность до 100 т включительно. Две трети плавкранов с классом РКО составляют несамоходные единицы флота [6] (см рис. 1).

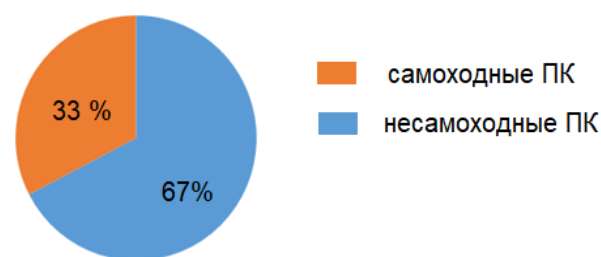


Рисунок 1 – Соотношение самоходных и несамоходных плавкранов

По диаграмме на рис.4 можно сказать, что основную долю составляют плавкраны, у которых относительная грузоподъёмность P/D от 2% до 5%. Диаграмма на рис. 5 говорит о

том, что на учёте РКО наиболее распространены плавучие краны грузоподъемностью 16 тонн, представленные проектами 81050; 721; Д-9012; Д-9020; Д-9021 Р-108.

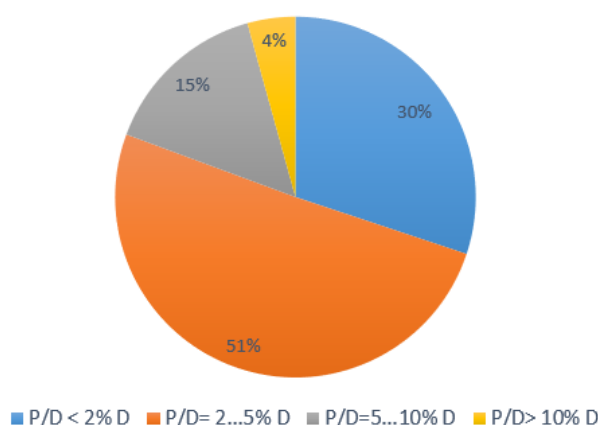


Рисунок 2 – Распределение групп ПК по относительной грузоподъемности P/D

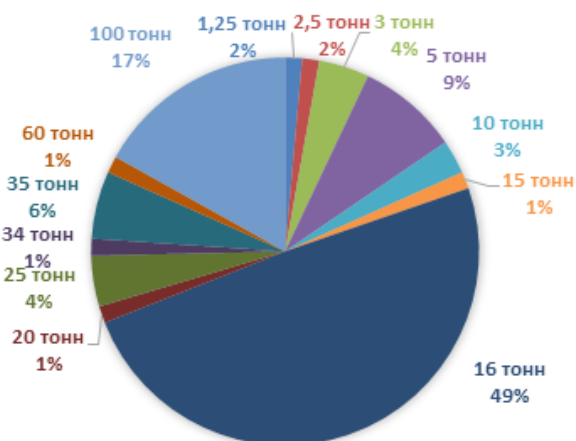


Рисунок 3 – Анализ состава выборки с P/D = 2...10% D по грузоподъемности

Вывод

На основе анализа данных можно сказать, что срок эксплуатации 20% плавкранов в Реестре РКО превышает 50 лет, и ещё 55% – около 40 лет. Это говорит о том, что старые проекты будут заменяться на новые, более современные плавучие краны, и исследования в обозначенной области требований к остойчивости ПК являются актуальными.

ПКПС предъявляют меньшие требования к остойчивости плавкранов, чем ПКПМС для классов ПК, соответствующих одним и тем же районам плавания. Поэтому тема исследований состава нормативных требований к ПК для ВВП и ПКПМС подтверждает актуальность исследований в данной области. С этой целью необходимо исследовать гидродинамические характеристики плавкранов, влияющие на остойчивость. И опираясь на динамические характеристики остойчивости ПК с теми или иными параметрами, обосновывать выдвижение к ним требований к остойчивости при работе в прибрежных морских районах.

Список литературы:

1. Российское классификационное общество. Правила классификации и постройки судов (ПКПС). Москва: РКО, 2019г. https://rfclass.ru/uploads/pkps_rko_vvedeny_v_dejstvie_s_29-11-2024.pdf (дата обращения 10.06.2025 г.)
2. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов, Часть I «Классификация», НД № 2-020101-174. URL: <https://lk.rs-class.org/regbook/> (дата обращения 10.06.2025 г.)
3. Российское классификационное общество. Правила классификации и постройки морских судов, Часть IV «Остойчивость». Москва: РКО, 2020г. https://rfclass.ru/uploads/pkps_ms_4.pdf (дата обращения 10.06.2025г.)
4. Регистровая книга 2025 РКО; <https://rfclass.ru/activities/class/regbook/> (дата обращения 10.06.2025 г.)
5. Реестр транспортных средств на сайте агентства Росморречфлот; <https://morflot.gov.ru/search/> (дата обращения 10.06.2025 г.)

6. Виды плавкранов. Классификация плавучих кранов по назначению, типу основания, верхнему строению и другим категориям. URL: <https://sputnik-flot.ru/vidy-plavkranov> (дата обращения 10.06.2025 г.)

