



## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ПОДЪЕМНОГО УГЛА (HOISTING ANGLE) ВО ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ОПЕРАЦИЙ С ТЯЖЕЛЫМИ И НЕГАБАРИТНЫМИ ГРУЗАМИ НА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СУДАХ

*Бень А.П., Соловей А.С.*

*Херсонская государственная морская академия*

*В статье рассмотрены вопросы усовершенствования методов контроля подъемного угла (Hoisting angle) во время проведения грузовых операций с тяжелыми и негабаритными грузами на специализированных судах (типа Heavy Lift). Предложены подходы к совершенствованию типовой методики выполнения грузовых операций на таких судах путем использования системы поддержки принятия решений, осуществляющей мониторинг и управление рядом параметров судна: количеством балласта и его распределением в балластных танках, углом крена судна, метацентрической высотой, нагрузкой на гак, вылетом стрелы, скоростью ветра, периодом качки. Использование предложенной методики по созданию систем поддержки принятия решений при проведении грузовых операций с тяжелыми и негабаритными грузами на специализированных судах, позволит при существующем уровне оборудования снизить уровень риска, повысит безопасность этих операций, снизит экономические затраты за счет сокращения времени грузовых операций.*

*Ключевые слова: подъемный угол, система поддержки принятия решений, тяжелые негабаритные грузы, специализированные суда Heavy Lift.*

**Введение.** В настоящее время существенно возрастает число морских перевозок на специализированных морских судах (Heavy Lift Carrier). При осуществлении грузовых операций с тяжелыми негабаритными грузами важной научно-практической задачей является контроль параметров остойчивости судна.

Нарушение остойчивости при погрузке и выгрузке судна, особенно в тех случаях, когда грузовые операции осуществляются судовыми грузовыми кранами или грузовыми стрелами может привести к появлению опасного крена и наваливанию судна на причал.

Резкое увеличение крена судна в сторону причала при погрузке и выгрузке может стать причиной повреждений груза, корпуса судна, береговых сооружений, смещению и утрате других раскрепленных палубных грузов, а также другим потерям, включая человеческие жертвы.

**Актуальность исследования.** Вопросам повышения безопасности при проведении грузовых операций уделяется особенное внимание в крупнейших судоходных компаниях, таких как Jambo Shipping, BigLift Shipping, Hansa Heavy Lift, BBC Chartering, Intermarine, SAL (Schiffahrtskontor Alles Land), Harren & Partner.

В ряде работ [1, 2] исследуются процедуры проведения грузовых операций с тяжелыми негабаритными грузами (Guideline for Project Cargo Operations), разработанные в соответствии с требованиями нормативных документов Международной морской организации (ИМО), например IMO Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Securing.

Многообразие решаемых судоводителем задач при реализации технологического процесса погрузки тяжелого негабаритного груза, протекающее, в общем случае, в условиях неопределенности, обуславливает необходимость создания специализированных систем поддержки принятия решений (СППР), позволяющих существенно повысить качество управления процессом погрузки.

По результатам анализа видно, что создание систем контроля параметров остойчивости является актуальным исследованием, направленным на повышение безопасности при осуществлении грузовых операций.

**Основной материал.** Для того, чтобы определить возможность возникновения опасного наклонения в процессе погрузки и выгрузки судна судоводителями могут быть



произведены предварительные расчеты, которые позволят найти параметры устойчивости и оценить углы крена, которые могут возникнуть на судне при последующих погрузочно-разгрузочных операциях [3]. При выполнении грузовых операций с тяжелыми и негабаритными грузами судоводителю, управляющему и контролирующему процесс погрузки тяжелых и негабаритных грузов судовыми кранами на судно, приходится сталкиваться с проблемой постоянного контроля нескольких параметров, влияющих на устойчивость судна, а как следствие на безопасность проведения грузовых операций.

Все эти параметры можно разделить условно на две группы: статические параметры и динамические параметры.

К **статическим** параметрам можно отнести следующие:

- масса груза;
- расположение центра тяжести груза.

Группу **динамических** параметров составляют следующие:

- поперечная метацентрическая высота  $GM$  (расчет этого параметра должен производиться как минимум для 3-х этапов погрузки/выгрузки –  $GM$  начальная,  $GM$  при отрыве груза,  $GM$  при пересечении линии борта судна,  $GM$  при касании грузом палубы:

$$GM = KM - KG, \quad (1)$$

где  $KM$  – возвышение метацентра судна над килем,  $KG$  – возвышение центра тяжести судна над килем;

- угол крена (учет этого параметра должен производиться на всем протяжении грузовой операции и не должен превышать  $3^0-5^0$ ):

$$tg\theta = \frac{w \cdot L \cdot \cos\alpha \cdot \sin\beta}{(W + w) \cdot GM - w \cdot (RG + L \cdot \sin\alpha)}, \quad (2)$$

где  $W$  – водоизмещение судна,  $w$  – масса единицы груза,  $\alpha$  – угол наклона стрелы,  $\beta$  – угол вылета стрелы,  $L$  – длина стрелы,  $RG$  – расстояние между центром тяжести судна и точкой крепления стрелы;

- масса (объем) балласта, необходимого для компенсирования массы груза при погрузке/выгрузке:

$$S = \frac{(P + Q + R) \cdot \left(\frac{B}{2} + a\right)}{S_y}, \quad (3)$$

где  $P$  – масса единицы груза,  $Q$  – креновая масса стрелы судового крана,  $R$  – масса оснащения для подъема,  $B$  – теоретическая расчетная ширина судна,  $a$  – максимальный вылет стрелы при погрузке единицы груза,  $S_y$  – расстояние между центрами тяжести креновых танков правого и левого бортов судна;

- нагрузка на гак грузовой стрелы судового крана (Hook Load);
- подъемный угол (Hoisting angle) – угол отстояния линии подъемного троса от вертикали, значение этого параметра должно быть максимально сведено к нулю);
- вылет стрелы судового крана (Outreach) – от величины этого параметра зависит безопасная рабочая нагрузка на стрелу крана (SWL), а соответственно и лимит нагрузки на гак стрелы.

Одной из сложных задач, от решения которой зависит безопасность проведения грузовых операций, при которых необходимо свести к минимуму риски связанные с повреждениями груза, корпуса судна, береговых сооружений, смещением и утрате других раскрепленных палубных грузов, а также другим потерям, включая человеческие жертвы, является задача сведения к минимуму величины подъемного угла (Hoisting angle).

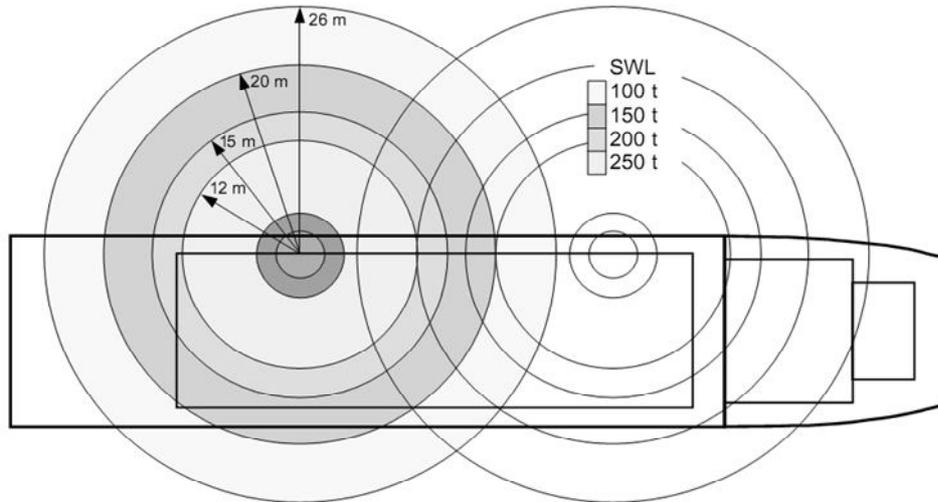


Рисунок 1 – Диаграмма зависимости SWL от вылета стрелы судового крана

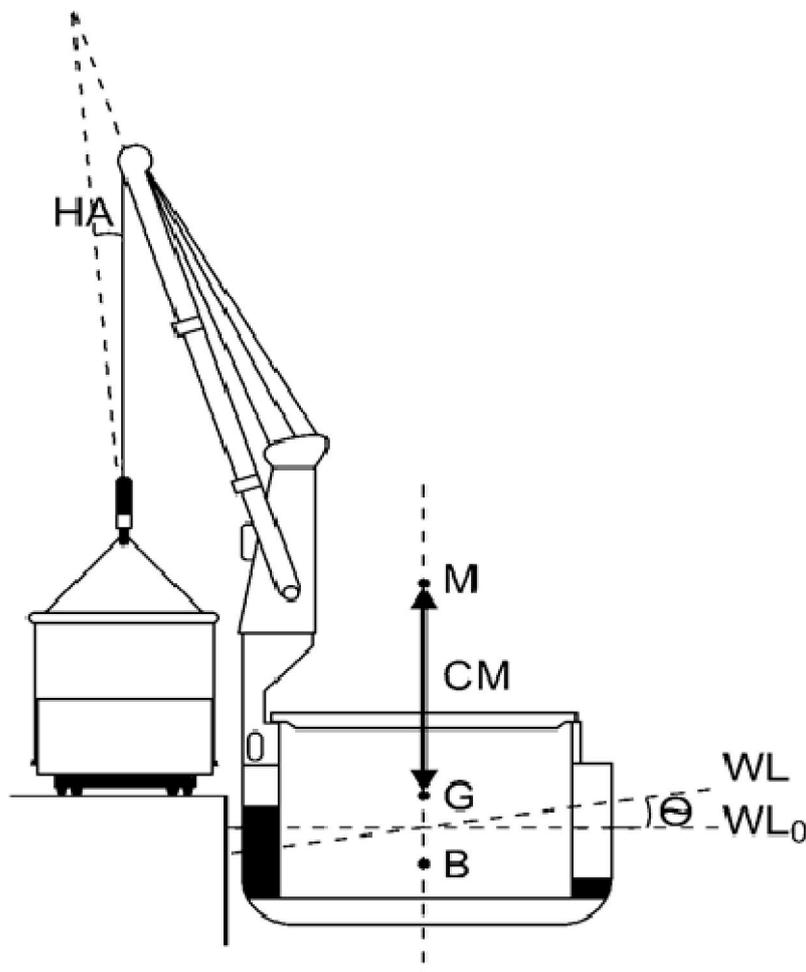


Рисунок 2 – Контролируемые параметры при погрузке тяжелых грузов:

WL – ватерлиния, HA – (Hoisting angle) подъемный угол,  $\Theta$  – угол крена судна, M – метациентр судна, GM – поперечная метациентрическая высота судна, B – центр плавучести судна, G – центр тяжести судна



Подъемный угол (Hoisting angle) – это угол отстояния линии подъемного троса от вертикали (рис. 1). Наличие Hoisting angle, величина которого отличается от нулевого значения на несколько градусов, неизбежно приводит к смещению тяжелого негабаритного груза при подъеме его судовым краном.

Зависимость критической нагрузки на гак судового крана, при которой происходит смещение (скольжение) тяжелого негабаритного груза, от подъемного угла при наиболее распространенном коэффициенте скольжения  $\mu=0,3$  представлена в табл. 1.

Такого рода табличные зависимости приведены в руководствах по проведению грузовых операций [1].

Таблица 1 – Зависимость критической нагрузки на гак стрелы от подъемного угла

Подъемный угол (Hoisting angle)	1°	2°	3°
Критическая нагрузка на гак стрелы (в процентах от массы груза)	95 %	90 %	85 %

Как видно из табл. 1, при массе груза, например, 100 т и при подъемном угле 3° неконтролируемое смещение (скольжение) груза произойдет при нагрузке на гак 85 т. Из практики проведения грузовых операций с тяжелыми негабаритными грузами известно, что такая ситуация чревата повреждением груза, корпуса судна, береговых сооружений.

По этой причине при проведении погрузки тяжелых грузов, когда остается около 15-20 % нагрузки от веса груза на причале и соответственно 75-80 % нагрузки на гак судовой стрелы, необходимо уменьшить величину подъемного угла (Hoisting angle) до значения близкого к нулю. Обычно в морской практике судов-тяжеловозов это осуществляется посредством изменения угла крена судна с помощью антикреновой балластной системы, а также изменением угла наклона стрелы.

В качестве одного из способов контроля подъемного угла (Hoisting angle) на минимальном уровне можно применить следующий способ, который известен в современной морской практике. Это так называемый способ фиксации контрольного угла крена. Данный способ можно разделить на следующие основные этапы:

1. Закрепить подъемные стропы в точках крепления груза, при этом подъемный угол уменьшить до значения близкого к нулю посредством изменения угла наклона стрелы крана.
2. Зафиксировать значение контрольного угла крена (Control heel) при подъемном угле равном нулю (например, Control heel равен 1° PS).
3. Пошаговыми действиями (step-by-step), увеличивая постепенно нагрузку на гак судового крана и компенсируя появляющийся крен судна с помощью креновых балластных танков (перемещая балласт из креновых танков с левого на правый борт), довести нагрузку на гак до 90-95 % от массы груза.
4. На последнем этапе необходимо добиться того, чтобы отрыв груза от причала был произведен при угле крена равном значению контрольного угла (в нашем случае 1°PS). В этом случае подъемный угол при отрыве груза от причала, автотранспортера, баржи и т.д. будет равен нулю.

Преимуществом предложенного способа по сравнению с имеющимися является его сравнительная простота использования и то, что данный подход не требует сложных и дорогостоящих технических решений.

Поскольку процесс управления погрузкой тяжелого негабаритного груза на специализированное судно осуществляется в режиме реального времени, крайне важным является оперативность принятия управленческих решений в процессе погрузки.

Решение этой задачи может быть обеспечено путем использования системы поддержки принятия решения (СППР) по управлению динамическими параметрами, контролируемые при погрузке тяжелых и негабаритных грузов. Данная СППР должна содержать базу правил по принятию решений, которая анализирует изменение этих динамических параметров и рекомендует лицу, принимающему решения (судоводитель),



внесение изменений в процесс погрузки/выгрузки, гарантирующих безопасное проведение грузовых операций. Например: при росте нагрузки на гак стрелы судового крана увеличивается крен судна на борт, с которого поднимается груз, а поперечная метацентрическая высота (GM) уменьшается. Максимальное изменение (уменьшение) GM будет в момент отрыва груза от причала. При одновременном росте крена судна в этот момент возрастает риск опрокидывания судна, и для того, чтобы его снизить, надо переместить необходимое количество балласта на противоположный борт судна.

Разработка таких СППР и решение оптимизационных задач сталкивается с рядом трудностей, связанных с особенностями процесса погрузки/выгрузки грузов, среди которых необходимо отметить следующие:

- сложность математической модели процесса управления погрузкой/выгрузкой;
- необходимость контроля большого количества параметров в режиме реального времени;
- необходимость выполнения нормативных требований, регламентирующих требования безопасности, в процессе погрузки/выгрузки на судне.

При создании специализированных СППР необходимо формировать базу знаний по процедурам погрузки/выгрузки, уже отработанным на реальных примерах в практике морского судоходства, и использующих методы многокритериальной оптимизации для решения задач выбора наилучших управляющих воздействий для конкретного процесса погрузки/выгрузки.

Таким образом, для эффективного решения задачи контроля подъемного угла (НА) во время проведения грузовых операций с тяжелыми негабаритными грузами на специализированных судах, необходимо разработать математическую модель контроля параметров (подъемный угол НА, поперечная метацентрическая высота GM, угол крена, количество балласта), влияющих на погрузку судна при осуществлении таких операций, с последующим решением многокритериальной оптимизационной задачи выбора из значений для обеспечения требуемого уровня безопасности выполнения этих операций.

**Выводы.** Использование предложенной методики по созданию систем поддержки принятия решений при проведении грузовых операций с тяжелыми и негабаритными грузами на специализированных судах, оборудованными собственными кранами, позволит при существующем уровне оборудования снизить уровень риска, повысить безопасность этих операций, снизить экономические затраты за счет сокращения времени грузовых операций, уменьшить влияние, так называемого, «человеческого фактора» на процесс их выполнения.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. BBC Guideline. Safe solutions for project cargo operations. – Leer : BBC Chartering and Logistic GmbH&Co.KG, 2009. – 76 p.
2. Noble Denton document 0027/ND. – Guidelines for Marine Lifting Operations.
3. Ершов А. А. Контроль остойчивости и посадки судна при погрузке и выгрузке / А. А. Ершов. – Санкт-Петербург : Издательство ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2002. – 60 с.

**Бень А.П., Соловей О.С.** ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ПІДЙОМНОГО КУТА (HOISTING ANGLE) ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ВАНТАЖНИХ ОПЕРАЦІЙ З ВАЖКИМИ ТА НЕГАБАРИТНИМИ ВАНТАЖАМИ НА СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ СУДНАХ

*У статті розглянуті питання удосконалення методів контролю підйомного кута (Hoisting angle) під час проведення вантажних операцій з важкими негабаритними вантажами на спеціалізованих судах типу Heavy Lift. Запропоновані підходи до вдосконалення типової методики виконання вантажних операцій на таких судах шляхом використання системи підтримки прийняття рішень, що здійснює моніторинг та керування низкою параметрів судна: кількістю баласту та його розподілом у баластних цистернах, кутом крену судна, метацентричною висотою, навантаженням на гак, вильотом стріли, швидкістю вітру, періодом хитаєць. Використання*



запропонованої методики по створенню систем підтримки прийняття рішень під час проведення вантажних операцій з важкими та негабаритними вантажами на спеціалізованих судах, дозволить при існуючому рівні обладнання знизити рівень ризику, підвищити безпеку цих операцій, знизити економічні витрати за рахунок скорочення часу вантажних операцій.

*Ключові слова:* підйомний кут, система підтримки прийняття рішень, важкі негабаритні вантажі, спеціалізовані судна Heavy Lift.

**Ben A.P., Solovey O.S. IMPROVEMENT OF METHODS OF CONTROL OF THE HOISTING ANGLE DURING CARGO OPERATIONS WITH HEAVY AND OVERSIZED CARGOES ON SPECIALIZED VESSELS**

*This article describes how to improve the methods of the lifting angle (Hoisting angle) control during cargo operations with heavy and oversized cargoes on specialized vessels (such as Heavy Lift). Authors suggested the approaches to improve standard procedure of loading operations on such vessels by using decision support system. This system executes monitoring and management of a number of vessel characteristics: quantity of ballast and its distribution in ballast tanks, heeling angle, metacentric height, hook load, boom outreach, windspeed and rolling period. Use of the proposed method for creating decision support systems during cargo operations with heavy and oversized cargoes on specialized vessels, will allow, with exciting equipment, to reduce risk, increase the safety of these operations, reduce economic costs by reducing the time of cargo operations.*

*Keywords:* hoisting angle, decision support system, heavy lift cargo, heavy lift vessels.

Статтю прийнято  
до редакції 16.06.14.