

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАГРУЗКИ СУДНА

А.Н. Ивановский (Керчь)

Большинство разработчиков программного обеспечения для судов пользуются классическими алгоритмами, которые подразумевают проведение натуральных испытаний, а также наличие большого количества эмпирических параметров. В соответствии с требованиями, предъявляемым к грузовым компьютерным системам (ГКС) [1 – 3], ограничения накладываются лишь на точность выходной информации, в то время как способы написания алгоритмов для расчета параметров загрузки судна могут сильно различаться. Поэтому некоторые компании активно экспериментируют с автоматизацией всевозможных процессов, критически важных для безопасной погрузки, а также с применением искусственного интеллекта для оптимизации планирования и контроля грузовых операций.

Составление грузового плана проводится в соответствии типом и количеством груза, предъявляемому к перевозке. Также ограничения на грузовой план могут накладывать предельные допустимые осадки в портах отхода/прихода, погодные условия в регионе плавания, а также эксплуатационные характеристики судна, о которых будет сказано позже.

Как правило, на судах типа «балкер» составляется четыре грузовых плана – по два на порт прихода и два на порт отхода. Делается это для упрощения контроля текущего состояния судна в любой момент текущего рейса. Грузовой план предполагает наличие полной информации о судовых запасах, балласте, топливе, а также характеристики танков и отсеков, где они хранятся.

Еще до захода в порт погрузки замеряются все балластные и топливные танки, топливо, предварительно рассчитывается состояние судна на момент прихода. Также составляется грузовой план на отход судна, с учетом изменившегося балласта. Стоит отметить, что некоторые параметры (массу неучтенных запасов, или константу) получают после замеров фактических осадок и в соответствии с ними уточняют текущее состояние загрузки. В обязательном порядке перед отходом судна и заключительным замером осадок еще раз замеряют балластные и топливные танки, так как даже после дебалластировки в некоторых из них может оставаться по несколько тонн воды. Аналогичные действия проводят и в порту выгрузки.

Минимально каждый грузовой план должен содержать общую информацию о расчетной посадке судна (крен + дифферент), подробную информацию о количестве и расположении груза (масса + координаты центра тяжести), о количестве и расположении топлива, балласта, судовых запасов в табличном виде. Общую информацию об остойчивости (таблица + график), напряжениях на корпус судна (сравнение предельно допустимых перерезывающих сил и изгибающих моментов с фактическими). А также отчет о проведенном замере осадок и соответствующих расчетах.

Ограничений на максимальное количество предоставляемой информации не накладывается. Единственным требованием является её наглядность и доступность. Так, дополнительно можно представлять план заполнения танков и трюмов в графическом виде, предварительно рассчитать состояния судна на случай затопления одного или нескольких отсеков и т.д.

Применительно к грузовым компьютерным системам одним из основных отличий стоит считать способ ввода данных. При этом отметим, что ручной ввод зачастую может оказаться более точным, нежели ввод информации с датчиков. Некоторые системы могут давать управляющие воздействия на грузовую систему, в

частности, осуществлять контроль над балластной системой, при этом не обязательно система должна быть интегрированной.

В последнее время ведутся разработки систем, разительно отличающихся от классических алгоритмами обработки информации о судне. В частности, с применением алгоритмов искусственного интеллекта и машинного обучения. Основным преимуществом таких систем является возможность создавать модель судна в реальном времени и, соответственно, учитывать все изменения, неизбежно происходящие при эксплуатации (будь то изменение параметров судна порожнем, переоборудование судна, а также наличие множества мелких грузов, таких как швартовы, краска, малогабаритное оборудование и т.д.). Такие системы позволяют отказаться от использования алгоритмов, основанных на множестве эмпирических формул и коэффициентов и делают возможным создание адекватной математической модели судна сравнительно простыми методами.

Конечно, классические алгоритмы отлично работают, когда судно находится на тихой воде и его можно представить в виде статической системы, однако, реальные условия редко бывают идеальными, и даже при погрузке на рейде судно испытывает на себе значительные воздействия внешних факторов. В таких случаях возникает необходимость рассматривать судно в качестве нелинейной динамической системы, и математика становится сложной.

Типичной является такая ситуация: существует система уравнений, описывающих состояние судна с учетом всевозможных факторов, однако для практического её применения необходимо наличие огромного количества эмпирических данных. Например, для расчёта присоединенных масс воды, что само по себе является задачей нетривиальной и практически сложно реализуемой. То есть, даже при существующей математической модели её техническая реализация оказывается практически невозможной.

Широко распространен такой вариант ГКС: балластный компьютер работает на отдельной машине, оснащенной собственной ОС, как правило на базе Linux, а грузовой компьютер представляет собой машину с Windows или Linux и содержит в себе набор кроссплатформенных приложений для составления грузовых планов, расчетов массы груза по осадке (draft survey) и подготовки соответствующей документации. Такой выбор оборудования обусловлен прежде всего ценой программного обеспечения.

Для балластного компьютера ввиду специфики эксплуатации наличие собственной ОС является разумной необходимостью. Балластный компьютер находится в режиме непрерывной работы и имеет доступ к управлению насосами, клапанами, и внезапный сбой в системе или выход из программы может поставить под угрозу безопасность судна и экипажа, а также повлечь за собой большие финансовые потери. Такой же принцип применим и к любым интегрированным грузовым программам, которые имеют прямой доступ к судовым датчикам и грузовым системам.

Программы планирования грузовых операций, как правило, не имеют прямого воздействия на грузовые или балластные устройства, а потому вполне оправдано разрабатывать их под популярные ОС. Стоимость такой разработки ниже, такие программы более защищены от сбоев в системе и могут быть запущены на практически любой машине.

Наиболее распространенные системы рассматривают загрузку судна только на тихой воде. В данном случае судно представляется статической системой и построение полной математической модели сравнительно простая задача. В частности, балластные танки можно считать твердыми телами с предопределенными центрами тяжести, напряжения на корпус также являются статическими. Очевидным преимуществом является простота расчетов и малые требования к мощности машин, на которых

установлена такая система. Однако такие программы, как правило, предназначены только для расчета конечных состояний загрузки – на приход и на отход судна.

За редким исключением такие программы не контролируют состояние судна во время погрузки, то есть при неверной последовательности загрузки вполне возможно превысить допустимые напряжения на судно и переломить корпус. Соответственно, отсутствует возможность контролировать реальные нагрузки на корпусе во время морского перехода, поэтому предварительный расчет производится в пределах определенного доверительного интервала, который ввиду неблагоприятных погодных условий может быть превышен.

Еще одним краеугольным камнем является ввод данных в ГКС. Несмотря на постепенное внедрение интегрированных систем, стоимость их разработки, установки на судно и эксплуатации весьма высока, а данные с некоторых типов датчиков до сих пор не обладают достаточной точностью, поэтому на большинстве судов ввод данных производится вручную.

Следующим фактором является время – создание грузовых систем под каждое конкретное судно весьма трудоемкий процесс. Переоборудование судов, дополнительные натурные испытания для получения более точных данных, либо для расчета данных, отсутствующих в судовой документации и т.д. требует дополнительных затрат человеческих и финансовых ресурсов, а потому многие судовладельцы предпочитают использовать морально устаревшие методы.

Среди наиболее распространенных ГКС на мировом флоте программ AydenLoad v3 – это программное обеспечение на базе Windows [4], которое вычисляет остойчивость как неповрежденного, так и поврежденного судна в различных условиях загрузки. Пример пользовательского интерфейса данной программы представлен на рис. 1.

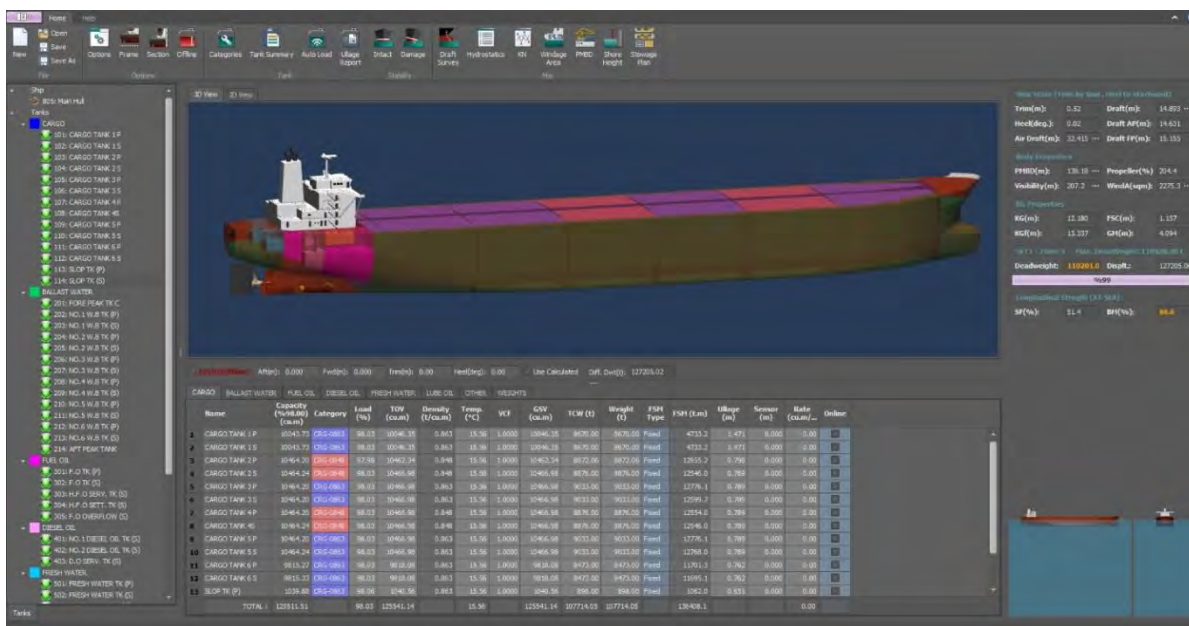


Рисунок 1 – Пользовательский интерфейс AydenLoad v3

Программное обеспечение компании AydenLoad v3 позволяет:

- рассчитывать загрузку любых типов судов;
- осуществлять непрерывный контроль и расчет водоизмещения, дедвейта, центра тяжести судна, надводного борта и т.д.;
- планировать грузовые операции с учетом минимизации эффекта свободной поверхности, а также с учетом крепления груза;

- выполнять обратные операции по расчету массы груза по осадкам (“draft survey”);
- обладает удобной формой отчетности и 3D визуализацией.

**Продукты компании Napa Ltd [5].** Способность оптимизировать нагрузку при минимизации напряжений и рисков для безопасности является ключевым конкурентным преимуществом для судовладельцев и операторов. Имея более 2000 установок на судах, крупные судоходные компании по всему миру доверяют опыту NAPA. Грузовой компьютер NAPA обеспечивает оптимальное планирование размещения, груза и балласта для каждого типа судна. Система охватывает широкий спектр расчетов, связанных с гидростатикой, остойчивостью неповрежденного и поврежденного судна, расчетом продольной прочности и т.д.

К особенностям грузовых компьютеров NAPA относятся:

- динамический графический интерфейс;
- поддержка 3D визуализации;
- непрерывный контроль безопасности судна (стойчивость, прочность и эксплуатационные ограничения) и предупреждения о превышении пределов;
- расчет остойчивости поврежденного судна и встроенная система поддержки принятия решений в экстремальных ситуациях;
- интерфейсы для операций с балластными танками, в том числе: датчиков измерения уровня жидкости, автоматического устранения крена, газоанализаторов в пустых отсеках;
- совместимость с офисными приложениями судовладельцев;
- оборудование для стандартных систем реагирования на чрезвычайные ситуации, включая проверенную совместимость с Lloyd's Register и DNV-GL Emergency Response Services;
- одобрено всеми основными классификационными сообществами обществами.

Отдельно стоит выделить возможность программ NAPA рассчитывать гидростатические, гидродинамические свойства судна в различных условиях эксплуатации (рис. 2), строить математические модели судна, близкие к реальным. Также компания поставляет аварийные компьютеры для контроля состояния судна и принятия решений в экстренных ситуациях (рис. 3).

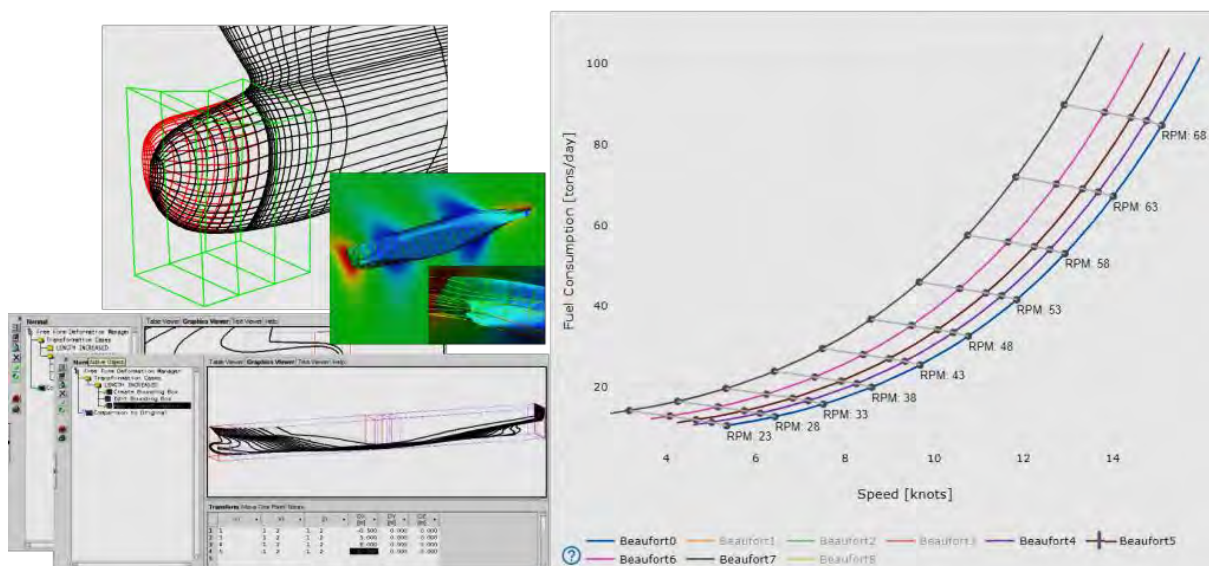


Рисунок 2 – Пример анализа данных программами NAPA





Рисунок 3 – Аварийный компьютер NAPA

Компания **Норре Марине** [6] занимается разработкой программного обеспечения преимущественно для сухогрузов. Преимуществом программ (рис. 4) является простота в использовании, кроссплатформенность приложений, а также их малый размер. К недостаткам – отсутствие возможности проведения draft survey. Несмотря на многолетнюю историю компания активно развивается и постоянно внедряет новые разработки. Более современные версии ПО представляют собой интегрированные системы, с управлением балластными операциями и автоматическим планированием загрузки судов. Тем не менее, даже устаревшие продукты компании справляются с задачей планирования загрузки, есть возможность добавлять свободные веса, с указанием масс и координат (может быть полезно для учета экипажа, провизии, а также различных негабаритных грузов).

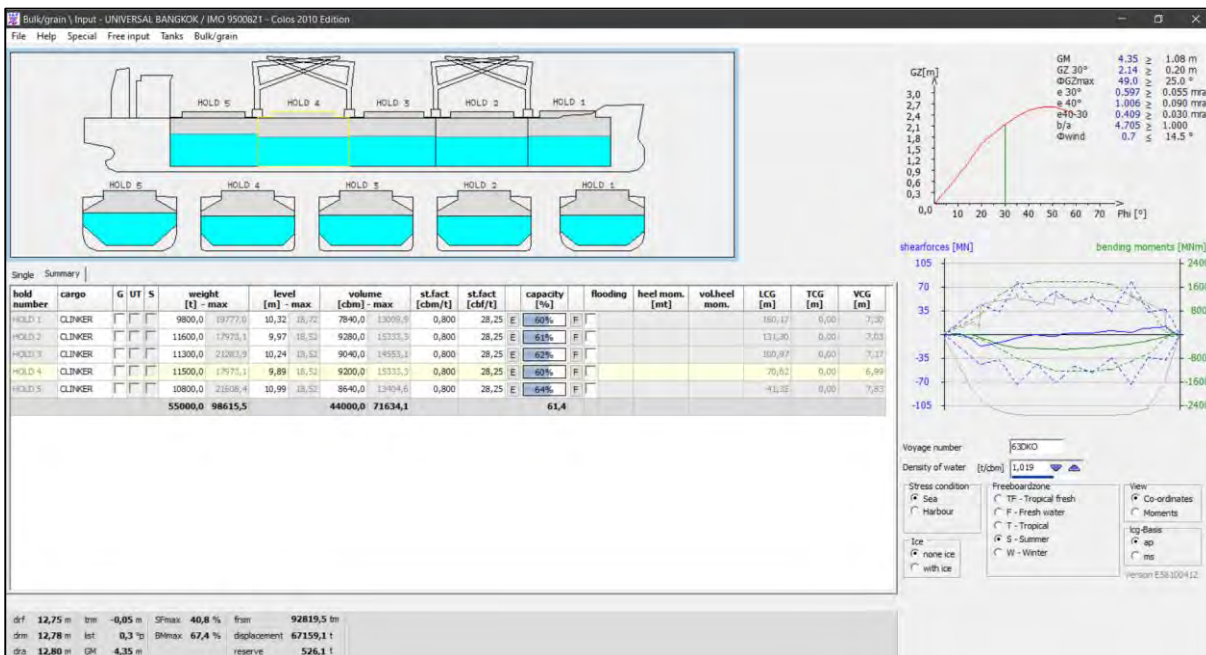


Рисунок 4 – Colos Win для судов типа балкер

**Компания Auto Ship System Corporation** [7]. Еще один крупный поставщик программного обеспечения позиционирует себя как лидера отрасли и активно продвигает и улучшает линейку грузовых программ Autoload (рис. 5). Как и ряд других разработчиков компания разработала стандартизированное ядро для создания грузовых программ, которое видоизменяется под каждое конкретное судно. Круг судов, для которых предоставляется ПО, не ограничен только судами типа балкер, но и распространяется на Ро-Ро, танкера, контейнеровозы, оффшорные суда и любые их видоизменения.

С минимальным количеством данных от пользователя программа обеспечивает быструю и точную оценку текущего состояния устойчивости судна, напряжений на корпус и ряд других важных оценок. Стоит отметить, что программы способны строить довольно точные модели груза, учитывать его смещение, а также влияние на соответствующие переборки, опоры и т.д. Кроме того, возможно автоматическое планирование погрузки, которое оптимизируется в зависимости от заданных осадок, количества груза и других условий.

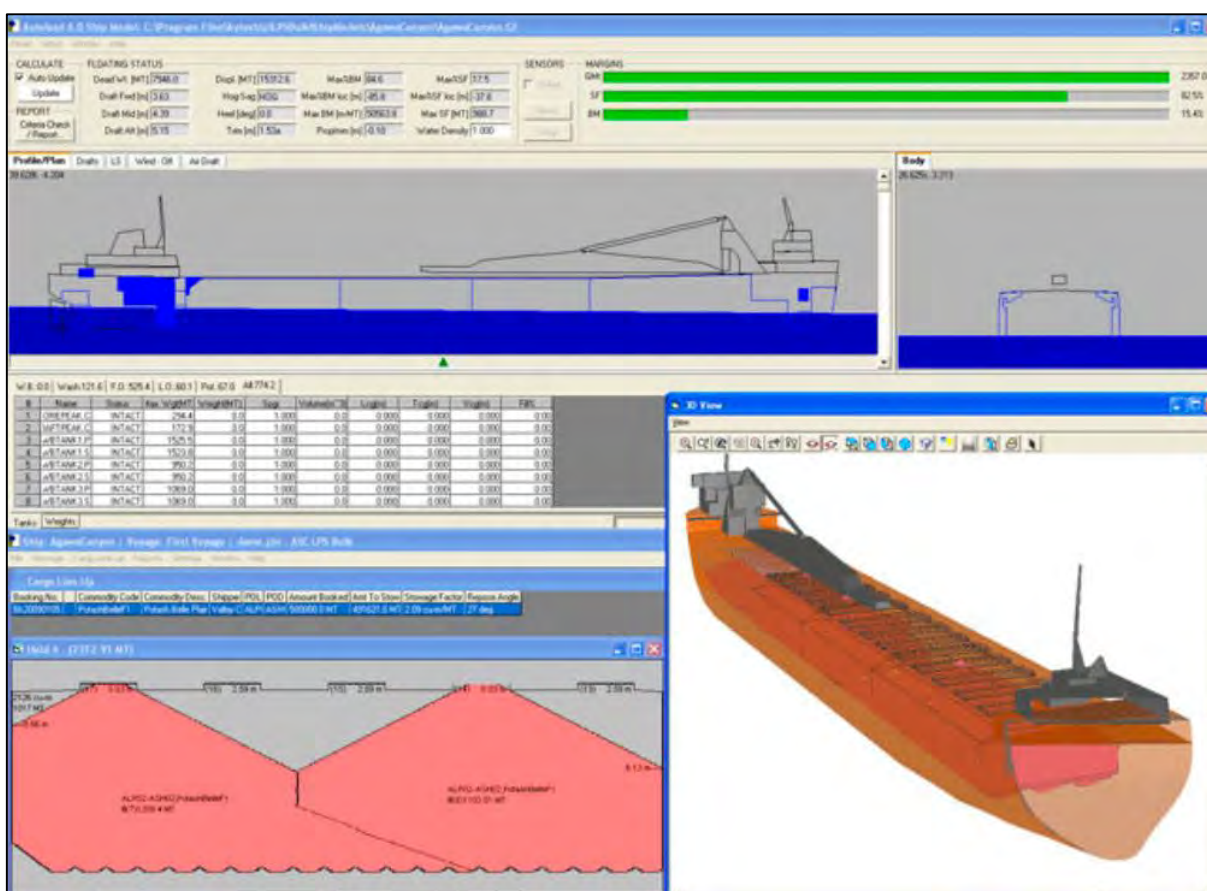


Рисунок 5 – Пример пользовательского интерфейса программ Autoload

Перспективы развития грузовых компьютерных систем огромны, так как они могут предоставить значительные объемы информации о судне в реальном времени. Это даст возможность контролировать безопасность судна как при морской навигации, так и при стоянке судна в порту или на рейде. Это особенно важно для навалочных судов, при погрузке которых есть реальный риск разлома судна.

Значительная часть проблем интеграции судовых датчиков уже решена. Практически на всех судах осуществляется непрерывный контроль за балластной системой, при погрузке работают системы компенсации крена. На судах-контейнеровозах осуществляется автоматический контроль за рефрижераторными

контейнерами. На некоторых пассажирских и торговых судах постепенно внедряются системы тензометров – датчиков, позволяющих следить за механическими напряжениями на корпусе судна.

Одной из немногих процедур, которую всё еще нельзя интегрировать в общую грузовую систему, остается определение осадки судна. Несмотря на то, что от точности этой процедуры в целом зависит точность определения количества груза на борту, до сих пор снятие осадки судна проводят визуально. Существующие методы позволяют либо незначительно улучшить точность измеряемых данных, либо применимы лишь в условиях тихой погоды, в то время как большинство грузовых операций на навалочных судах происходит на рейде, в условиях значительного морского волнения.

Для решения этой проблемы предложен способ определения осадки судна с помощью алгоритмов компьютерного зрения и машинного обучения [8, 9]. В условиях шторма такой способ позволит достичь точности в четыре миллиметра, что хотя и является хорошим результатом, несколько уступает по точности ультразвуковым датчикам. Однако в условиях волнения данный способ является, возможно, единственным на сегодняшний день, способным достичь точности в один сантиметр и выше (в зависимости от погодных условий и освещения), что делает дальнейшую разработку и внедрение систем компьютерного зрения и машинного обучения на судах весьма перспективной.

### Литература

1. Российский морской регистр судоходства Правила классификации и постройки морских судов. Часть XV. Автоматизация / ФАУ «Российский Морской Регистр Судоходства», СПб., 2017. 59 с.
2. Rules for Classification and Construction, Guidelines for Loading Computer Systems. – Hamburg: Germanischer Lloyd SE, 2013. 28 с.
3. Guidance and Information on Dry Cargo Loading and Discharging to Reduce the Likelihood of Over-stressing the Hull Structure. – London: International Association of Classification Societies, 2020. 38с.
4. AydenLoad v3 [Электронный ресурс] – 2016. – Режим доступа: <http://www.aydenmarine.com/products.aydenload.html>.
5. NAPA Ltd, about NAPA [Электронный ресурс] – 2019. – Режим доступа: <https://www.napa.fi/about-napa/>.
6. Норре Marine [Электронный ресурс] – 2020. – Режим доступа: <https://www.hoppe-marine.com/>.
7. Auto Ship System Corporation [Электронный ресурс] – 2020. – Режим доступа: <http://cargomanagement.autoship.com/>.
8. **Ивановский А.Н., Марковкина Н.Н., Черный С.Г.** Выделение марки углубления на изображении с использование алгоритмов компьютерного зрения // Морские интеллектуальные технологии. ISSN: 2073-7173 - 2021. № 1-2 (51). С. 102-107.
9. **Ивановский А.Н.** Улучшение точности измерения массы груза по осадкам с применением современных информационных технологий / А.Н. Ивановский – В сборнике: Образование, наука и молодежь - 2020. Сборник трудов по материалам II научно-практической конференции студентов и курсантов. Под общей редакцией Е.П. Масюткина. 2020. С. 21-24.