Проектирование и конструкции судов

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2020-1-7>
УДК 629.5.021.18

В.Г. Бугаев, Д.В. Славгородская

БУГАЕВ ВИКТОР ГРИГОРЬЕВИЧ – д.т.н., профессор, ORCID 0000-0001-8778-620X,
e-mail: v_bugaev@mail.ru
СЛАВГОРОДСКАЯ ДАРЬЯ ВЛАДИМИРОВНА – аспирант, e-mail: daria.lobanovskaya@gmail.ru
Кафедра кораблестроения и океанотехники Инженерной школы
Дальневосточный федеральный университет
Суханова ул., 8, Владивосток, Россия, 690091

Численное моделирование гидродинамики судна ледового плавания на чистой воде

Аннотация: Арктический шельф России с его огромным потенциалом природных ресурсов, в частности запасов углеводородов, относится к стратегически важным и перспективным районам страны. На фоне растущего интереса к развитию Арктического региона и освоению его морских углеводородных месторождений возникает проблема подбора арктического флота, в частности судов ледового плавания специального назначения. Несмотря на то что ледоколы и суда ледового плавания предназначены для эксплуатации во льдах, большая часть времени их эксплуатации приходится на плавание на чистой воде, в связи с чем исследование сопротивления корпуса судна ледового плавания на чистой воде представляет научный интерес. Такое исследование требует тщательного и детального анализа формы корпуса и характеристик винто-рулевого комплекса, а также их взаимодействия в процессе технологических операций и может быть выполнено с помощью автоматизированных систем проектирования и инженерного анализа. В статье представлены результаты численного моделирования движения судна ледового плавания на чистой воде, в частности найденные зависимости сопротивления воды движению судна от его скорости. Визуализация результатов исследования позволяет определить не только численные значения показателей, но и оценить картину процесса, будь то распределение давления, поля скоростей или течение жидкости, что является несомненным преимуществом компьютерного моделирования. Полученные данные являются основой для формирования рекомендаций по созданию оптимальных форм корпусов судов ледового плавания с точки зрения ходкости.

Ключевые слова: судно ледового плавания, сопротивление на чистой воде, оптимизация формы корпуса, численное моделирование движения.

Введение

Создание современных судов специального назначения (обеспечения) является чрезвычайно актуальной проблемой. Переход на новые принципы обеспечения платформ и эксплуатации судов требует тщательного и детального анализа формы корпуса и характеристик винто-рулевого комплекса, а также их взаимодействия в процессе технологических операций, поскольку ошибки, допущенные при выборе скорости, ледопроеходимости и маневренности, могут привести к значительному снижению эффективности судна.

Современными судами специального назначения (обеспечения) являются многофункциональный ледокол «Варандей» и суда снабжения «Алексей Чириков», «Витус Беринг». Они предназначены для бесперебойного круглогодичного обслуживания нефтедобывающих платформ на морских нефтегазодобывающих месторождениях и стационарных установок различного назначения. При выполнении соответствующих требований Правил Регистра суда могут быть использованы для буксировочных работ.

Особенностями проектирования и эксплуатации судов специального назначения (обеспечения) являются:

- обеспечение ледокольных операций в районе платформ;
- обеспечение аварийно-спасательных работ и оказание помощи судам при пожаре и разливе нефти;
- сопровождение судов, буксировка платформ и других крупногабаритных объектов;
- доставка на платформы персонала, бурового оборудования, снабжения и расходных материалов;
- длительное нахождение в море при различных метеорологических условиях;
- частое маневрирование в процессе операций и швартовки в море.

Испытания моделей судов в ледовых бассейнах позволяют проводить исследования в широком диапазоне изменения формы и размеров проектируемых судов и плавучих сооружений, однако это сложный и трудоемкий процесс [8, 13]. В последнее время широкое распространение для предбассейновой оптимизации объектов морской техники, ледоколов и судов активного ледового плавания получили численные методы [4, 5, 7, 9]. Так, методы расчета сопротивления воды и льда движению судна довольно полно рассмотрены в [1, 2, 6, 10].

В [1] дано описание опыта применения программного комплекса *FlowVision* для оптимизации обводов морского судна тылового обеспечения проекта 23120, предназначенного для плавания как на чистой воде, так и во льдах. Отмечают преимущества численного подхода для визуализации результатов исследований и поиска оптимальных решений, довольно много внимания уделяется оптимизации формы и определению гидродинамических характеристик гребного винта [3, 12]. В то же время недостаточно полно освещены вопросы создания гибкой в управлении 3D-модели поверхности корпуса, формирования пограничного слоя, попутного потока и взаимодействия корпуса судна и винто-рулевого комплекса.

Цель настоящей статьи – определение зависимости сопротивления воды движению судна от его скорости, а также от распределения давления по поверхности корпуса, пограничного слоя и попутного потока.

Прежде всего мы должны сделать следующее:

- создать 3D-модель поверхности корпуса судна, которая позволит нам провести анализ формы корпуса и сформулировать рекомендации для дальнейшей его оптимизации;
- определить зависимость сопротивления воды движению судна от его скорости, провести сравнение результатов численного моделирования с результатами аналитических вычислений и натурных испытаний судов;
- определить параметры, в наибольшей степени влияющие на формирование пограничного слоя, спутного следа и на коэффициент попутного потока.

Решение этих задач осуществляется с помощью программного обеспечения FlowSimulation SolidWorks.

Трехмерная модель поверхности корпуса

Трехмерная модель поверхности корпуса судна представлена на рис. 1, основные элементы судна – в табл. 1.

Рис. 1. 3D-модель поверхности корпуса судна.
Здесь и далее – иллюстрации
и табличные расчеты авторов.

Таблица 1

Основные элементы 3D-модели судна

Элементы судна	Значение
Длина наибольшая, м	100,0
Длина расчетная, м	88,8
Ширина расчетная, м	21,7
Высота борта, м	13,3
Осадка, м	10,6
Водоизмещение, т	10870
Дедвейт, т	4650
Скорость, уз.	15,0

Сопротивление воды движению судна

Движение судна осуществляется в водоизмещающем режиме (без изменения посадки), с числами Фруда ($0,18 \div 0,24$), позволяющими рассчитать сопротивление воды движению судна с помощью традиционных методов с целью проверки точности расчетов, выполненных с использованием численных методов.

В качестве базового режима движения принимается режим, при котором скорость набегающего потока $v=8$ м/с. Расчет производится в единицах измерения по системе СИ, тип задачи – внешняя, текучая среда – жидкость, шероховатость – 250 мкм, тип течения – ламинарное и турбулентное. Расчетная область выбирается из соображений минимизации воздействия внешних граничных условий на картину обтекания корпуса судна.

Особый интерес представляют скорости потока в пограничном слое, давление на поверхности корпуса, силы полного сопротивления и сопротивления трения и др.

Поскольку набегающий поток равномерный и направлен по оси X, то для исследования выбраны:

- сила давления по оси X (остаточное сопротивление);
- сила трения по оси X (сопротивление трения);
- сила по оси X (полное сопротивление);
- площадь смоченной поверхности.

После выполнения расчетов можно сравнить результаты численного исследования с результатами, полученными с помощью традиционных методов и экспериментов, а также с реальными объектами.

Результаты и их обсуждение

Достаточно четко наблюдаются зоны повышенного давления и изменения скорости потока жидкости, которые приводят к образованию носовой и кормовой групп волн. Носовые волны образуются в районе форштевня, а кормовые – в районе ахтерштевня, что хорошо видно на рис. 2. В кормовой оконечности образуется попутный поток, который в районе сужения корпуса отрывается от него, создавая полосу завихрений.

Рис. 2. Картина распределения скоростей и давлений (уступ и коробчатый киль скрыты):
а – в носовой оконечности; б – в кормовой оконечности.

На рис. 3 приведено распределение давления в районе носовой части КВЛ.

**Рис. 3. Распределение давлений в носовой части КВЛ:
а – положение КВЛ; б – график распределения давлений.**

Для определения зависимости сопротивления (полного сопротивления, сопротивления давления, сопротивления трения) от скорости мы выполнили параметрический расчет с варьированием скорости судна от 2 до 8 м/с.

В настоящей статье предпринят анализ судовой поверхности, однозначно заданной параметрами формы, т.е. форма корпуса не изменяется.

Результаты расчетов представлены в табл. 2 и в виде графика зависимости сопротивления от скорости движения судна (рис. 4, а).

Таблица 2

Сводная таблица расчетов зависимости сопротивления от скорости движения судна

Наименование	Расчетная точка 1	Расчетная точка 2	Расчетная точка 3	Расчетная точка 4
Скорость в направлении X [m/s]	2	4	6	8
Ср Скорость (X) [m/s]	1,99	3,98	5,97	7,96
Сопротивление давления (X) [кН]	36,4	145,2	327,3	580,8
Полное сопротивление (X) [кН]	47,6	185,8	414,2	729,9
Сопротивление трения (X) [кН]	11,2	40,6	86,9	149,1
Площадь (смачиваемая поверхность) [м ²]	2574,2	2574,2	2574,2	2574,2

Сравнение результатов численного моделирования с результатами, полученными аналитическим методом, предложенным Крыловским государственным научным центром [2], и с результатами натурных испытаний ледокола «Москва» (1960 г. постройки), представленных в не утратившей актуальность монографии «Сопротивление льда движению судна» (Каштелян В.И., Позняк И.И., Рывлин А.Я. Л.: Судостроение, 1968, 268 с.), приведено на рис. 4,б.

**Рис. 4. Зависимость сопротивления от скорости движения судна:
а – исследуемое судно; б – сравнение результатов.**

При скорости движения судна 2 м/с разница в результатах расчетов сопротивления воды, полученных с помощью программного продукта Flow Simulation (SolidWorks) и метода, предложенного Крыловским государственным научным центром (R), составляет 60%. При увеличении скорости судна разница в результатах начинает уменьшаться: при скорости 4 м/с – 48%; при 8 м/с – 5,6%. Повышенное сопротивление исследуемого судна по сравнению с ледоколом «Москва» объясняется наличием у него корпуса, более приспособленного для плавания во льдах. Это связано, в первую очередь, с углами наклона к вертикали в носовой оконечности борта и ватерлиний к ДП, в большей степени обеспечивающих ломку льда изгибом под действием вертикальных сил, нежели прорезанием форштевнем и прилегающими участками бортов, а также соотношением главных размерений.

Наличие длинного коробчатого киля существенным образом влияет как на сопротивление формы, так и на сопротивление трения. Поэтому при оптимизации формы корпуса необходимо обратить особое внимание на размеры и форму коробчатого киля, его влияние на сопротивление и работу винта. Отрыв пограничного слоя наблюдается также в кормовой оконечности в районе окончания коробчатого киля (рис. 5).

Рис. 5. Картина распределения скоростей в диаметральной плоскости:
а – в носовой оконечности; б – в кормовой оконечности.

Существенное влияние на формирование пограничного слоя и спутного следа оказывают дискретные вихри, образующиеся на скулах в носовой и кормовой оконечностях. Наличие дискретных вихрей в районе скулы приводит к изменению толщины пограничного слоя по периметру шпангоута и его смещению вниз по потоку. Толщина пограничного слоя и положение точки отрыва зависят от вязкости жидкости, формы и шероховатости корпуса судна и ряда других факторов.

Устранение носовых скуловых вихрей связано с выбором рациональной формы корпуса: изменением угла наклона форштевня, угла наклона мидель-шпангоута и др. Установка U-образных шпангоутов в кормовой оконечности, с одной стороны, приводит к увеличению интенсивности скуловых вихрей, с другой – снижает неравномерность поля скоростей в диске винта. На рис. 6, а приведена картина распределения скоростей обтекания 3D-модели корпуса судна в плоскости диска винта. Для подтверждения достоверности результатов численных исследований на рис. 6,б показаны данные испытаний модели танкера типа «София» с умеренно U-образной формой шпангоутов в кормовой оконечности [11].

Рис. 6. Картина распределения скоростей в плоскости диска винта:
а – 3D-модели; б – модели танкера «София» [12].

На рис. 7 приведено распределение давления по поверхности носовой оконечности судна.

Рис. 7. Распределение давлений по поверхности носовой оконечности:
а – положение точек замера; б – таблица значений.

Расчет попутного потока

Скорость потока воды в диске винта за корпусом судна имеет радиальную неравномерность и несколько ниже скорости движения судна:

$$v_{\psi} = v - v_p,$$

где v_{ψ} – осевая составляющая скорости попутного потока, м/с;

v – скорость движения судна, м/с;

v_p – скорость потока в диске винта, м/с.

Коэффициент попутного потока:

$$\psi = \frac{v_{\psi}}{v} = \frac{v - v_p}{v} = 1 - \frac{v_p}{v}.$$

Наибольшее распространение для определения коэффициента ψ получили следующие формулы:

для винтов в диаметральной плоскости:

$$\psi = 0,5\delta - 0,1;$$

для бортовых винтов (по Тейлору):

$$\psi = 0,5\delta - 0,16.$$

На рисунках 8, 9 приведены поля скоростей в дисках винтов в диаметральной плоскости и бортовых винтов.

Рис. 8. Поле скоростей в диске винта в ДП:
а – положение точек измерения; б – таблица значений.

Рис. 9. Поле скоростей в диске бортового винта:
а – положение точек измерения; б – таблица значений.

Средняя скорость в диске винта: в диаметральной плоскости – 6,91 м/с, коэффициент попутного потока – 0,14 (его значение по формуле – 0,225).

Средняя скорость в диске бортового винта – 7,69 м/с, коэффициент попутного потока – 0,04, (по формуле Тейлора – 0,165).

Формирование реального потока за корпусом судна в месте расположения винта определяется не только спецификой обводов кормовой оконечности, размерами и расположением выступающих частей, но и влиянием винто-рулевого комплекса. Поэтому следующий этап наших исследований – оптимизация формы корпуса (углов наклона форштевня, летней грузовой ватерлинии на носовом перпендикуляре, летней грузовой ватерлинии к ДП, шпангоутов на уровне летней грузовой ватерлинии к ДП и др.). Особый интерес, на наш взгляд, представляют размеры и формы коробчатого киль и его влияние на работу винто-рулевого комплекса (рис. 10).

Рис. 10. Трехмерная модель поверхности корпуса судна с винто-рулевыми колонками.

Выводы

Итак, мы представили результаты численного моделирования движения судна ледового плавания на чистой воде: определены зависимости сопротивления воды движению судна от его скорости. Отметим, что визуализация этих результатов позволяет определить не только численные значения показателей, но и оценить картину протекающего процесса, что является несомненным преимуществом компьютерного моделирования.

Полученные результаты, мы полагаем, могут стать основой для рекомендаций по созданию оптимальных (с точки зрения ходкости) форм корпусов судов ледового плавания. Так, лыжеобразная форма кормовой оконечности позволяет значительно уменьшить коэффициент попутного потока и радиальную неравномерность скорости потока в диске винте, что положительно сказывается на его работе. Коробчатый киль довольно сильно влияет на сопротивление формы и сопротивление трения. Придавая килю хорошо обтекаемую форму,

можно добиться минимального нарушения плавности обводов корпуса и уменьшить полное сопротивление.

Остаточное сопротивление можно уменьшить в процессе оптимизации формы корпуса, выбрав рациональные соотношения главных размерений L/B , B/T и углов наклона форштевня, притыкания конструктивной ватерлинии к диаметральной плоскости и других параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов А.А., Жлуктов С.В., Петров А.С., Печенюк А.В., Станков Б.В. Программный комплекс FlowVision как современный инструмент проектирования судовых обводов // Судостроение. 2013. № 4. С. 54–58. URL: http://www.sstc.spb.ru/upload/iblock/d09/2013_4.pdf (дата обращения: 09.11.2019).
2. Ионов Б.П., Грамузов Е.М., Зуев В.А. Проектирование ледоколов: монография. СПб.: Судостроение, 2013. 512 с.
3. Лаврищев Л.С., Новоселов В.Н. Оптимизация формы модели гребного винта в однородном потоке // Труды Крыловского гос. науч. центра. [Специальный выпуск]. 2018. № 1. С. 75–83. URL: <http://transactions-ksrc.ru/upload/pdf/spec2018/75-83.pdf> (дата обращения: 07.11.2019).
4. Лобанов В.А. Оценка местной ледовой прочности корпуса судна численными методами // Дифференциальные уравнения и процессы управления. 2010. № 3. URL: <https://diffjournal.spbu.ru/pdf/lobanov4.pdf> (дата обращения: 03.11.2019).
5. Лобанов В.А. Численная оценка ледовых качеств судна. Ходкость // Вестник научно-технического развития. 2012. Вып. 1(53). URL: <http://www.vntr.ru/ftpgetfile.php?id=571> (дата обращения: 05.11.2019).
6. Махин В.П., Страшко А.Н. Математическое моделирование движения судов во льдах // Вестник гос. ун-та морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2015. № 2(30). С. 1–11. URL: <https://journal.gumrf.ru/files/articles/30/1-11.pdf> (дата обращения: 02.11.2019).
7. Никитин В.С. Развитие судостроения и техники для освоения шельфовых месторождений // Труды Крыловского гос. науч. центра. 2018. Т. 386, № 4. С. 5–10. URL: <http://transactions-ksrc.ru/upload/pdf/386/5-10.pdf> (дата обращения: 01.11.2019).
8. Семенов Д.А., Зуев В.А., Грамузов Е.М. Новые подходы к экспериментальным исследованиям ледового сопротивления судов на их моделях // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=16869> (дата обращения: 05.11.2019).
9. Таранов А.Е., Сайфуллин Т.И., Рудниченко А.А., Егоров С.В. Особенности использования численного моделирования при проектировании объектов морской техники // Труды Крыловского гос. науч. центра. 2018. Т. 386, № 4. С. 28–40. URL: <http://transactions-ksrc.ru/upload/pdf/386/28-40.pdf> (дата обращения: 04.11.2019).
10. Темникова А.А., Рубан А.Р. Определение скорости ледоколов на «чистой воде», эксплуатируемых на северном Каспии // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова. 2017. Т. 9. № 1(41). С. 27–36. URL: <https://journal.gumrf.ru/files/articles/41/27-36.pdf> (дата обращения: 04.11.2019).
11. Турбал В.К. Проектирование обводов и движителей морских транспортных судов. Ленинград: Судостроение, 1983. 153 с. URL: <http://en.bookfi.net/book/661803> (дата обращения: 01.10.2019).
12. Яковлев А.Ю., Орлов О.П., Ачкинадзе А.Ш., Бородай И.К., Родионов А.А. Численное исследование движителей с гребными винтами-танDEM в насадке // Труды Крыловского гос. науч. центра. 2018. Вып. 4(386). С. 50–55. URL: <http://transactions-ksrc.ru/upload/pdf/386/50-55.pdf> (дата обращения: 07.10.2019).
13. Molland A.F., Turnock S.R., Hudson D.A. Ship resistance and propulsion: practical estimation of ship propulsive power. Cambridge, GB. Univ. Press, 2011, 544 p. URL: https://books.google.ru/books?id=_tivZTPUgXMC&printsec=frontcover&hl=ru#v=onepage&q&f=false – 11.10.2019.

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2020-1-7>

Bugaev V., Slavgorodskaya D.

VICTOR BUGAEV, Doctor of Engineering Sciences, Professor, ORCID 0000-0001-8778-620X,
 e-mail: v_bugaev@mail.ru
 DARIA SLAVGORODSKAYA, Postgraduate, e-mail: daria.lobanovskaya@gmail.com
 Department of Shipbuilding and Ocean Engineering, School of Engineering
Far Eastern Federal University
 8 Sukhanova St., Vladivostok, Russia, 690091

Numerical simulation of the hydrodynamics of icebreaking ships in clear water

Abstract: The Arctic shelf of Russia belongs to strategically important, promising areas of the country with an enormous potential of natural resources, in particular hydrocarbon reserves. In the view of the growing interest to the development of the Arctic region and the development of its off-shore hydrocarbon fields, the actual problem of Arctic fleet selection and optimization upraises, in particular, regarding the special-purpose ice navigation vessels. Despite the fact that icebreakers and icebreaking vessels are designed for ice operations, most of their operating time is spent in ice-free waters, and therefore, the study of hull resistance of an ice vessel in ice-free water is the one of scientific interest. Such study requires thorough and detailed analysis of the shape of vessel's hull and the characteristics of propeller-steering complex, as well as their interaction in the course of technological operations, and can be performed using automated design systems and engineering analysis. This article presents the results of numerical simulation of movement of an ice-floating vessel in ice-free water: the dependence of water resistance on a vessel's speed; while visualizing the results of this study allows to determine not only the numerical values of the indicators, but also to evaluate the whole picture of the process, whether pressure distribution, field velocities or fluid flow, which is an undoubted advantage of computer simulation. The data obtained as a result of the study may serve as basis for the formation of recommendations for development of effective hull forms of ice-floating vessels in terms of ship performance.

Keywords: ice-going vessel, ice-free water resistance, hull shape optimization, motion computer modelling.

REFERENCES

1. Aksenov A.A., Zhlukto S.V., Petrov A.S., Pechenyuk A.V., Stankov B.V., Flow Vision software as modern tool for ship form design. *Shipbuilding*. 2013(4):54–58. URL: http://www.sstc.spb.ru/upload/iblock/d09/2013_4.pdf – 09.11.2019.
2. Ionov B.P., Gramuzov E.M., Zuev V.A. Design of icebreakers: monograph. St. Petersburg, Shipbuilding, 2013, 512 p.
3. Lavrishev L.S., Novoselov V.N. Propeller model shape optimization in homogenous flow. *Transactions of the Krylov State Research Center*. 2018(1):75–83. URL: <http://transactions-ksrc.ru/upload/pdf/spec2018/75-83.pdf> – 07.11.2019.
4. Lobanov V.A. Estimation of the local ice strength of the hull by numerical methods. *Differential equations and control processes*. 2010(3):1–9. URL: <https://diffjournal.spbu.ru/pdf/lobanov4.pdf> – 03.11.2019.

5. Lobanov V.A. Numerical evaluation of ice vessel convenience. Propulsive ability. Bulletin of scientific and technological development. 2012(53). URL: <http://www.vntr.ru/ftpgetfile.php?id=571> – 05.11.2019.
6. Makhin V.P., Strashko A.N. Mathematical modeling of the movement of ships in ice. Bulletin of the State Univ. of the Sea and River Fleet named after Admiral S.O. Makarov. 2015(30):1–11. URL: <https://journal.gumrf.ru/files/articles/30/1-11.pdf> – 02.11.2019.
7. Nikitin V.S. Progress in shipbuilding and technology for offshore oil & gas developments. Transactions of the Krylov State Research Center. 2018;386(4):5–10. URL: <http://transactions-ksrc.ru/upload/pdf/386/5-10.pdf> – 01.11.2019.
8. Semenov D.A., Zuev V.A., Gramuzov E.M. New approaches to experimental studies of the ice resistance of ships on their models. Modern problems of science and education. 2014(6). URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=16869> – 05.11.2019.
9. Taranov A.E., Sayfullin T.I., Rudnichenko A.A., Egorov S.V. Application specifics of numerical simulation in design of marine structures. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2018;386(4):28–40. URL: <http://transactions-ksrc.ru/upload/pdf/386/28-40.pdf> – 04.11.2019.
10. Temnikova A.A., Ruban A.R. Determination of the icebreakers' speed in ice free water operated in the Northern Caspian Sea, Bulletin of the State Univ. of the Sea and River Fleet named after Admiral S.O. Makarov. 2017;9(41):27–36. URL: <https://journal.gumrf.ru/files/articles/41/27-36.pdf> – 04.11.2019.
11. Turbal V.K. Design of form and propellers of marine transport vessels. Leningrad, Shipbuilding, 1983, 153 p. URL: <http://en.bookfi.net/book/661803> – 01.10.2019.
12. Yakovlev A.Yu., Orlov O.P., Achkinadze A.Sh., Boroday I.K., Rodionov A.A. Numerical studies of propulsors with nozzled tandem propellers. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2018;386(4):50–55. URL: <http://transactions-ksrc.ru/upload/pdf/386/50-55.pdf> – 07.10.2019.
13. Molland A.F., Turnock S.R., Hudson D.A. Ship resistance and propulsion: practical estimation of ship propulsive power. Cambridge, GB. Univ. Press, 2011, 544 p. URL: https://books.google.ru/books?id=_tivZTPUGXMC&printsec=frontcover&hl=ru#v=onepage&q&f=false – 11.10.2019.