

DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-2-272-278

DETERMINATION OF A FINITE NUMBER OF SHIPS WITH THE NAVIGATION MESSAGES MUTUAL EXCHANGE VIA SHIPBOARD EQUIPMENT OF THE AUTOMATIC IDENTIFICATION SYSTEM

Y. M. Ustinov, A. N. Marinich, A. P. Gorobtsov

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

In accordance with SOLAS 74 Regulation 5.19 all seagoing ships with a gross tonnage of over 300 gt are required to be equipped with ship's equipment of the automatic identification system (AIS) that is to improve Maritime Safety. It provides mutual exchange with the navigation and safety messages between the ships.

Mutual messaging is possible due to applying the schemes, proposed in the automatic identification system, of multi-station access and accurate synchronization of ships own time scales aligned with the signals of the Global Navigation Satellite System. The multi-station access performance is evaluated by the number of ships with ability of mutual exchange. However, any scheme has a finite capacity. The purpose of this paper is the calculation of the performance of the schemas used in the basic (stand-alone) operation of shipboard equipment for automatic identification system.

The scheme performance depends on the ship's traffic mode. It has been shown that the technical parameters of the automatic identification system shipboard equipment and algorithms for multi-station access allow up to 100 vessels to be involved into exchange with navigation messages within the area of the vessel traffic management system.

In the high seas when ships generally do not maneuver extensively when moving, the performance of multi-station access decreases less than 50 ships. There is a possibility to increase the AIS effectiveness by using three and more carrier frequencies to transmit ship's data.

Keywords: Automatic identification system, multi-station access, navigation message, signal frame, slot length, autonomous, assigned and inquired modes, performance of multi-station access.

For citation:

Ustinov, Yury M., Aleksandr N. Marinich, and Alexander P. Gorobtsov. "Determination of a finite number of ships with the navigation messages mutual exchange via shipboard equipment of the automatic identification system." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.2 (2020): 272–278. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-2-272-278.

УДК 621.396

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОГРАНИЧЕНИЙ ПО ЧИСЛУ СУДОВ С ВЗАИМНЫМ ОБМЕНОМ НАВИГАЦИОННЫМИ СООБЩЕНИЯМИ С ПОМОЩЬЮ СУДОВОЙ АППАРАТУРЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Ю. М. Устинов, А. Н. Маринич, А. П. Горобцов

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

В соответствии с правилом 19 гл. V «Безопасность мореплавания» Международной конвенции СОЛАС-74 все морские суда валовой вместимостью более 300 должны быть оснащены судовой аппаратурой автоматической идентификационной системы, обеспечивающей взаимный обмен между судами навигационными сообщениями и сообщениями безопасности. Известно, что в навигационных сообщениях содержатся статические, динамические и рейсовые данные судна, в сообщениях безопасности передаются данные о навигационной и метеорологической обстановке. Взаимный обмен сообщениями возможен благодаря предложенным в автоматической идентификационной системе схемам многостанционного доступа и точной синхронизации собственных шкал времени судов по сигналам глобальной навигационной

спутниковой системы. Производительность многостанционного доступа оценивается числом судов с взаимным обменом. Однако любая схема имеет конечную производительность. В статье выполнен расчет производительности используемых схем в основном (автономном) режиме работы судовой аппаратуры автоматической идентификационной системы. Производительность схемы зависит от режима движения судов. Показано, что технические характеристики судовой аппаратуры автоматической идентификационной системы и алгоритмы многостанционного доступа позволяют производить обмен навигационными сообщениями до ста судов в районе действия системы управления движением судов. Ограничения определяют возможности использования АИС в различных морских районах. В открытом море, когда суда не осуществляют маневры при движении, производительность многостанционного доступа меньше и составляет пятьдесят судов. Технически существует возможность увеличить производительность схем доступа, используя не две, а три и более несущие частоты для передачи судовых данных.

Ключевые слова: автоматическая идентификационная система, многостанционный доступ, навигационное сообщение, кадр сигнала, длина слота, автономный, назначенный и запросный режимы работы, производительность многостанционного доступа.

Для цитирования:

Устинов Ю. М. Определение ограничений по числу судов с взаимным обменом навигационными сообщениями с помощью судовой аппаратуры автоматической идентификационной системы / Ю. М. Устинов, А. Н. Маринич, А. П. Горобцов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 2. — С. 272–278. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-2-272-278.

Введение (Introduction)

Суда валовой вместимостью более 300, оснащенные автоматической идентификационной системой (АИС), на удалении до 18 морских миль (устойчивая дальность сигнала в диапазоне очень высоких частот) обеспечиваются взаимным обменом навигационными сообщениями для повышения безопасности плавания в автономном, назначенном и запросном режимах работы АИС [1]–[4]. Взаимный обмен сообщениями многих судов (многостанционный доступ) в АИС класса А возможен благодаря временному разделению каналов (TDMA) на двух независимых несущих частотах и временной синхронизации кадров на разных судах по сигналам Глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) или дифференциального режима ГНСС (ДГНСС). Навигационные сообщения содержат статические, динамические и рейсовые данные, а также сообщения по безопасности.

К *статическим данным* относятся:

- опознаватель морской подвижной службы MMSI;
- номер ИМО судна;
- позывной судна;
- название судна;
- длина и ширина судна;
- тип судна;
- место расположения антенны ГНСС / ДГНСС.

К *динамическим данным* относятся:

- координаты судна (в системе координат WGS–84);
- время (в системе UTC);
- истинный курс судна;
- путевой угол судна;
- навигационный статус судна;
- скорость судна относительно грунта;
- направление и скорость поворота судна.

К *рейсовым данным* относятся:

- осадка судна;
- вид груза;
- порт назначения;

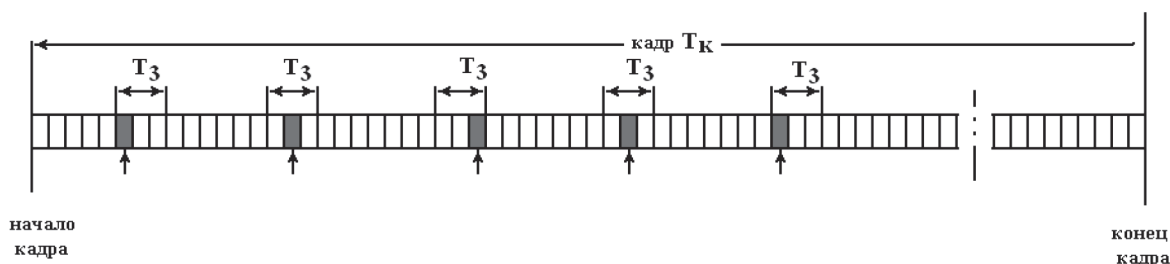
- время прибытия;
- контрольные точки маршрута;
- план перехода;
- число людей на борту.

Судовые данные формируют базы данных центров служб управления движением судов (СУДС) и автоматизированных систем мониторинга и служат основным источником информации для принятия решений службами управления, а также спасательно-координационными центрами. Сообщения безопасности содержат данные о навигационной и метеорологической обстановке в определенном районе. Кадр АИС-сигнала на каждой частоте имеет длину $T_k = 60$ с и разделяется на 2250 слотов (временных окон). Длительность слота равна 26,67 мс. Навигационные сообщения передаются со скоростью 9600 бит/с. В автономном режиме работы судовой аппаратуры АИС длительность сообщения не превышает длительности слота. Таким образом, можно сделать вывод о том, что за период времени, равный 60 с, на двух несущих частотах производительность многостанционного доступа составляет 4500 судов, находящихся на удалении до 18 миль. Далее показано, что с учетом технических характеристик АИС-аппаратуры многостанционный доступ за период времени, равный 60 с, в районе интенсивного судоходства намного меньше. Реальное количество судов можно определить по числу занятых слотов в одном кадре АИС-сигнала [5], [6].

Если одно судно при многостанционном доступе в среднем занимает $N_{сл}$ слотов, то за время одного кадра возможен на одной частоте обмен сообщениями $n_1 = \frac{2250}{N_{сл}}$ судов, а на двух частотах — $n_2 = \frac{4500}{N_{сл}}$ судов.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Рассмотрим среднее число занятых слотов одним судном в кадре сигнала. В автономном (основном) режиме работы АИС-аппаратуры применяется самоорганизующаяся схема многостанционного доступа SOTDMA (Self Organizing TDMA). По этой схеме для борьбы с синхронными помехами при передаче каждого следующего сообщения рабочий слот выбирается случайным образом среди трех свободных от передачи кандидатных слотов N_k . На рисунке в кадре T_k стрелками отмечены рабочие слоты, которые затемнены, T_3 — интервал времени, занятый тремя слотами.



Случайный выбор слота для передачи сообщения
из трех свободных слотов по схеме доступа SOTDMA

В таблице приведены значения интервалов передачи T_n [7] в различных режимах движения судна. Вероятность заданного режима движения судна обозначена $P_{дв}$:

Режим движения	Интервал передачи T_n
Судно на якорю или имеет ход не более 3 уз	3 мин
Судно на якорю или имеет ход более 3 уз	10 с
Судно имеет ход 0–14 уз без изменения курса	10 с
Судно имеет ход 0–14 уз с изменением курса	3 1/3 с
Судно имеет ход 14–23 уз	6 с
Судно имеет ход 14–23 уз с изменением курса	2 с
Судно имеет ход более 23 уз	2 с
Судно имеет ход более 23 уз с изменением курса	2 с

Среднее число занятых слотов $N_{\text{сл}}$ в одном кадре сигнала T_k одним судном при N_k свободных от передачи кандидатных слотов при режиме движения судна с вероятностью $P_{\text{дв}}$ и интервалами передачи навигационных сообщений $T_{\text{п}}$ определится выражением [7]:

$$N_{\text{сл}} = \frac{T_k N_k}{T_k} P_{\text{дв}}. \quad (1)$$

Из таблицы (после объединения ряда режимов) следует, что любое судно может находиться в одном из пяти режимов движения с вероятностями $P_{\text{дв}1-5}$, при которых интервалы передачи сообщений $T_{\text{п}1-5} = 2; 3,3; 6; 10; 180$ с. Очевидно, что выполняется условие

$$P_{\text{дв}1} + P_{\text{дв}2} + P_{\text{дв}3} + P_{\text{дв}4} + P_{\text{дв}5} = 1. \quad (2)$$

Окончательное выражение для среднего числа занятых слотов при пяти возможных режимах движения судна с учетом выражений (1) и (2) будет иметь вид

$$\begin{aligned} N_{\text{сл}} &= \frac{60 \cdot 3}{2} P_{\text{дв}1} + \frac{60 \cdot 3}{3,3} P_{\text{дв}2} + \frac{60 \cdot 3}{6} P_{\text{дв}3} + \frac{60 \cdot 3}{10} P_{\text{дв}4} + \frac{60 \cdot 3}{180} P_{\text{дв}5} = \\ &= 90 P_{\text{дв}1} + 54,5 P_{\text{дв}2} + 30 P_{\text{дв}3} + 18 P_{\text{дв}4} + P_{\text{дв}5}. \end{aligned} \quad (3)$$

Результаты (Results)

Среднее число судов с взаимным обменом навигационными сообщениями с учетом возможной работы АИС-аппаратуры ограничено пропускной способностью системы не только в автономном, но и в назначенном и запросном режимах. По решению центра СУДС по команде базовой станции АИС не более двух судовых аппаратур АИС могут быть переведены из автономного в назначенный режим работы [8]. Время работы в назначенном режиме не более 8 мин в номерах слотов, определенных базовой станцией АИС. В назначенном режиме навигационные сообщения передаются с интервалом 1 с. В запросном режиме АИС судовая аппаратура передает сообщение по запросу АИС базовой станции, а также сама может запрашивать сообщения:

- для синхронизации собственной шкалы времени;
- для использования дифференциальных поправок ГНСС;
- учета особенностей работы базовой станции АИС данным режиме и др.; запрошенное сообщение излучается с частотой один раз за 4 с.

Определим ограничения по среднему числу судов в районе действия СУДС, для которых обеспечивается взаимный обмен навигационными сообщениями сигналами АИС. Расчет выполнен при условии равенства вероятностей видов движения судов:

$$P_{\text{дв}1} = P_{\text{дв}2} = P_{\text{дв}3} = P_{\text{дв}4} = P_{\text{дв}5} = 0,2. \quad (4)$$

Результаты расчета:

- среднее число занятых слотов одним судном с учетом выражения (3) составит

$$N_{\text{сл}} = 90 \cdot 0,2 + 54,4 \cdot 0,2 + 30 \cdot 0,2 + 18 \cdot 0,2 + 0,2 = 44,08; \quad (5)$$

- среднее число судов при работе АИС — судовой аппаратуры на одной частоте

$$n_1 = \frac{2250}{44} \approx 51; \quad (6)$$

- при работе на двух частотах —

$$n_2 = \frac{4500}{44} \approx 102. \quad (7)$$

Количество судов с взаимным обменом навигационными сообщениями при переводе ряда АИС судовой аппаратуры в назначенный или запросный режимы не меняется.

Обсуждение (Discussion)

Ограниченное число судов с взаимным обменом навигационными сообщениями наблюдается также в районе действия СУДС, что напрямую связано с обеспечением безопасности мореплавания. В регионах интенсивного судоходства (например, в проливе Ла-Манш, Финском заливе, заливе Петра Великого, Азовском море, районах действия СУДС и др.) эти требования к безопасности мореплавания возрастают [8]–[11].

Производительность схемы падает, если суда часто осуществляют маневры курсом и / или скоростью хода. В открытом море, когда суда в большинстве случаев следуют со скоростью 14–23 уз без изменения курса, производительность схем многостанционного доступа ниже, чем в прибрежных районах действия СУДС, что указывает на ограничение АИС по числу одновременно обслуживаемых судов.

Для открытого моря параметры: $T_{\text{п}} = 2$ с; $P_{\text{дв}} = 1$.

Получим $N_{\text{сл}} = \frac{60 \cdot 3}{2} = 90$; $n_1 = \frac{2250}{90} = 25$ судов; $n_2 = \frac{4500}{90} = 50$ судов.

Выводы (Conclusions)

В результате выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Из приведенных выражений следует, что производительность многостанционных схем доступа в виде числа судов с взаимным обменом сообщениями зависит от вероятности, с которой суда находятся в тех или иных режимах движения. Наличие судов, стоящих в порту, в пределах дальности действия данной системы способствует значительному повышению производительности канала.

2. Технически существует возможность увеличить производительность схем доступа, используя три и более несущие частоты для передачи судовых данных. Другим направлением развития АИС является использование искусственных спутников Земли для ретрансляции сигнала [12], [13].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Резолюция MSC.74(69). Приложение 3. «Рекомендации по эксплуатационным требованиям к универсальной судовой АИС» // Сборник № 10 резолюций ИМО. — СПб.: ЗАО «ЦНИИМФ», 1998. — С. 42–54.
2. Гайдук Е. Л. Автоматическая система обмена данными: новые технологии для е-Навигации / Е. Л. Гайдук // Морской вестник. — 2017. — № 2 (62). — С. 91–96.
3. Стандарт МЭК 61993-2:2001(Е). Ч. 2: Судовое оборудование универсальной автоматической идентификационной системы (АИС) класса А. Технические и эксплуатационные требования, методы и требуемые результаты испытаний. — Женева, Швейцария: изд. МЭК, 2001. — 119 с.
4. Маринич А. Н. Судовая автоматическая идентификационная система / А. Н. Маринич [и др.]; под общ. ред. Ю. М. Устинова. — СПб.: Судостроение, 2004. — 179 с.
5. Рекомендации МСЭ-Р М.1371-1. Технические характеристики универсальной судовой автоматической идентификационной системы (АИС), использующей множественный доступ с временным разделением в УКВ полосе частот морской подвижной службы. [Электронная публикация]. — Женева, Швейцария: изд. МСЭ, 2002. — 144 с.
6. Устинов Ю. М. Методы частотной модуляции с минимальным сдвигом и непрерывной фазой при передаче сообщений в автоматической информационной системе (АИС) с помощью двоичных кодовых последовательностей / Ю. М. Устинов, А. Р. Шигабутдинов // Навигация и гидрография. — 2002. — № 14. — С. 22–28.
7. Устинов Ю. М. Технические средства судовождения / Ю. М. Устинов [и др.]; под общ. ред. Ю. М. Устинова. — СПб.: Морсар, 2016. — Т. 3: Судовые приборы электронной навигации. — 470 с.
8. Базаров Ю. И. Новая морская цифровая связь для е-Навигации / Ю. И. Базаров, М. И. Исмагилов, А. Н. Рогов // Транспорт Российской Федерации. — 2018. — № 3 (76). — С. 48–54.
9. Tu E. Exploiting AIS data for intelligent maritime navigation: a comprehensive survey from data to methodology / E. Tu, G. Zhang, L. Rachmawati, E. Rajabally, G. B. Huang // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. — 2017. — Vol. 19. — Is. 5. — Pp. 1559–1582. DOI: 10.1109/TITS.2017.2724551.
10. Liu L. Coverage effectiveness analysis of AIS base station: a case study in Yangtze River / L. Liu, X. Liu, X. Chu, J. Li, Z. Jiang, W. He // 2017 4th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS). — IEEE, 2017. — Pp. 178–183. DOI: 10.1109/ICTIS.2017.8047763.

11. Svanberg M. AIS in maritime research / M. Svanberg, V. Santén, A. Hörteborn, H. Holm, C. Finnsgård // *Marine Policy*. — 2019. — Vol. 106. — Pp. 103520. DOI: 10.1016/j.marpol.2019.103520.
12. Alincourt E. Methodology for AIS signature identification through magnitude and temporal characterization / E. Alincourt, C. Ray, P. Ricordel, D. Dare-Emzivat, A. Boudraa // *OCEANS 2016 – Shanghai*. — IEEE, 2016. — Pp. 1–6. DOI: 10.1109/OCEANSAP.2016.7485420.
13. Harchowdhury A. Generalized Mechanism of SOTDMA and Probability of Reception for Satellite-based AIS / A. Harchowdhury, B. K. Sarkar, K. Bandyopadhyay, A. Bhattacharya // *2012 5th International Conference on Computers and Devices for Communication (CODEC)*. — IEEE, 2012. — Pp. 1–4. DOI: 10.1109/CODEC.2012.6509332.

REFERENCES

1. “MSC.74(69) Resolution. Addendum 3 “Recommendation on operational requirements to Universal Shipborne AIS.” *Collection № 10 of IMO Resolutions*. SPb.: ZAO “CNIIMF”, 1998. 42–54.
2. Gaiduk, E.L. “Avtomaticeskaya sistema obmena dannymi: novye tekhnologii dlya e-Navigatsii.” *Morskoi vestnik* 2(62) (2017): 91–96.
3. IEC International Standard 61993-2:2001(E). *Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems – Automatic identification systems (AIS) – Part 2: Class A shipborne equipment of the universal automatic identification system (AIS) – Operational and performance requirements, methods of test and required test results*. Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2001.
4. Marinich, A. N., I. G. Protsenko, V. Yu. Reznikov, Yu. M. Ustinov, R. N. Chernyaev, and A. R. Shigabutdinov. *Sudovaya avtomaticheskaya identifikatsionnaya sistema*. Edited by Yu. M. Ustinov. SPb.: Sudostroenie, 2004.
5. *Recommendations ITU-R M.1371-1. Technical characteristics for a universal shipborne automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile band*. ITU, 2002.
6. Ustinov, Yu. M., and A. R. Shigabutdinov. “Metody chastotnoi modulyatsii s minimal’nym sdvigom i nepreryvnoi fazoi pri peredache soobshchenii v avtomaticheskoi informatsionnoi sisteme (AIS) s pomoshch’yu dvoichnykh kodovykh posledovatel’nostei.” *Navigatsiya i gidrografiya* 14 (2002): 22–28.
7. Gorobtsov, A. P., A. N. Marinich, A. V. Pripotnyuk, and Yu. M. Ustinov. *Tekhnicheskie sredstva sudovozhdeniya*. Vol. 3. *Sudovye pribory elektronnoi navigatsii*. Edited by Yu. M. Ustinov. SPb.: Morsar, 2016.
8. Bazarov, Yu. I., M. I. Ismagilov, and A. N. Rogov. “Novaya morskaya tsifrovaya svyaz’ dlya e-Navigatsii.” *Transport Rossiiskoi Federatsii* 3(76) (2018): 48–54.
9. Tu, Enmei, G. Zhang, L. Rachmawati, E. Rajabally, and G. B. Huang. “Exploiting AIS data for intelligent maritime navigation: a comprehensive survey from data to methodology.” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 19.5 (2017): 1559–1582.
10. Liu, Lei, X. Liu, X. Chu, J. Li, Z. Jiang, and W. He. “Coverage effectiveness analysis of AIS base station: a case study in Yangtze River.” *2017 4th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS)*. IEEE, 2017. DOI: 10.1109/ICTIS.2017.8047763.
11. Svanberg, Martin, Vendela Santén, Axel Hörteborn, Henrik Holm, and Christian Finnsgård. “AIS in maritime research.” *Marine Policy* 106 (2019): 103520. DOI: 10.1016/j.marpol.2019.103520.
12. Alincourt, Erwan, Cyril Ray, Pierre-Michel Ricordel, Delphine Dare-Emzivat, and Abdel Boudraa. “Methodology for AIS signature identification through magnitude and temporal characterization.” *OCEANS 2016-Shanghai*. IEEE, 2016. DOI: 10.1109/OCEANSAP.2016.7485420.
13. Harchowdhury, Anindya, Binay Kumar Sarkar, Kalyan Bandyopadhyay, and Amitabha Bhattacharya. “Generalized Mechanism of SOTDMA and Probability of Reception for Satellite-based AIS.” *2012 5th International Conference on Computers and Devices for Communication (CODEC)*. IEEE, 2012. DOI: 10.1109/CODEC.2012.6509332.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Устинов Юрий Матвеевич —
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: kaf_tsn@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ustinov, Yury M. —
Dr. of Technical Sciences, professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
Russian Federation
e-mail: kaf_tsn@gumrf.ru

Маринич Александр Николаевич —

кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация,
г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
e-mail: marinichan@gumrf.ru

Горобцов Александр Петрович —

кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация,
г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
e-mail: gorobtsovap@gumrf.ru

Marinich, Aleksandr N. —

PhD, associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping,
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
Russian Federation
e-mail: marinichan@gumrf.ru

Gorobtsov, Alexander P. —

PhD, associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping,
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
Russian Federation
e-mail: gorobtsovap@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 10 января 2020 г.

Received: January 10, 2020.