

УДК 523.3:527:528.28:529:656.61.052

IMPROVING ACCURACY OF APPROXIMATE MOON AGE ESTIMATION AND MOON NUMBER CALCULATION METHODS IN CELESTIAL NAVIGATION**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРИБЛИЖЕННОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ ВОЗРАСТА ЛУНЫ И МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛУННОГО ЧИСЛА В МОРЕХОДНОЙ АСТРОНОМИИ**V. V. Mikhalchuk, *PhD, associate professor***В.В. Михальчук, к.ф.-м.н., доцент***Odessa National Maritime Academy, Ukraine**Одесская Национальная Морская Академия, Украина***ABSTRACT**

On the basis of articles on the research of the moon-solar cycle review, published before by the author, additional correction to the formula of an approximate calculation of the age of the Moon is proposed, which allows to receive more precise solution.

Analytical calculation methods for the lunar number at the long time interval, sufficient for needs of navigation have been simplified. Methods of simple and fast determination of the lunar number for current year directly on the nautical astronomical almanacs without calculations under formulae are designed.

The precision of various methods of determination of the lunar number and the age of the Moon have been analyzed.

Key words: phases of the Moon, age of the Moon, Meton cycle.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами

В практике судовождения часто встречается задача определения возраста Луны. Решение этой задачи позволяет определить условия видимости Луны и естественную освещенность горизонта в ночное время, что связано с безопасностью плавания в открытом море. Точное значение возраста Луны на 0^ч гринвичского времени ($T_{гр}$) каждых суток года приводятся в российском Морском астрономическом ежегоднике (МАЕ) или в англо-американском ежегоднике «The Nautical Almanac». Однако ежегодник не всегда может оказаться под рукой, поэтому любой штурман должен уметь самостоятельно определять возраст Луны на любой день года. Эта задача должна решаться одним человеком с меньшей точностью, чем в ежегоднике, но быстро. К тому же, в учебной программе по мореходной астрономии предусмотрено обязательное изучение метода приближенного определения возраста Луны.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы, и выделение нерешенных ранее частей проблемы

Лунно-солнечный цикл продолжительностью 19 лет (метонов цикл) устанавливает взаимосвязь между возрастом Луны и датой календарного года [1,2]. Возрастом Луны (B) называется число суток и их долей, прошедших с момента ближайшего новолуния, и изменяется от 0 до 29,5. Для точности вычислений, принятой в метоновом цикле, возраст B Луны может быть выражен целым числом, принимающим значения от 0 до 30. При достижении значения $B = 30$, возраст Луны полагается равным нулю ($B = 0$).

Метонов цикл применяется для приближенного вычисления возраста Луны на любую дату солнечного календаря с максимально возможной точностью до 0,5 суток, если принять за продолжительность S синодического месяца его среднее значение $S = 29,530589$ суток. Для точного вычисления возраста Луны необходимо знать момент ближайшего новолуния из астрономических эфемерид. Приблизительно возраст Луны на любую календарную дату можно вычислить по формуле [2-8]:

$$B = L + M + D, \quad (1)$$

где L – лунное число для середины года, постоянное на весь год; M – номер месяца в году; D – число месяца. Лунное число лежит в пределах от 0 до 30 и увеличивается каждый год приблизительно на 11. Значения лунного числа и даты фаз Луны в метоновом цикле повторяются через каждые 19 лет.

Как показано в [2], точность вычисления возраста Луны по формуле (1) невелика и составляет 1-2 суток. Существующий метод приближенного нахождения возраста Луны [2-8] не обеспечивает требуемой точности в течение текущего года, поэтому в [8] указана возможность увеличения точности путем введения дополнительной поправки к возрасту Луны за месяц в формуле (1).

Лунное число, используемое в формуле (1), для данного календарного года Y вычисляется в 19-летнем метоновом цикле путем прибавления 11 к известному лунному числу предыдущего года $Y - 1$. Этот метод не позволяет аналитически вычислить лунное число с необходимой точностью на большом интервале времени за пределами текущего цикла.

Определение лунного числа на текущий год при помощи МАЕ или «The Nautical Almanac» возможно, если воспользоваться формулой (1), записав ее следующим образом:

$$L = B - M - D, \quad (2)$$

где B – возраст Луны на $T_{гр} = 0^h$ для данного дня D данного месяца M , взятый из ежедневных таблиц ежегодника и округленный до ближайшего целого значения. Такое определение лунного числа приводит к значительным погрешностям в решении, поскольку, во-первых, формула (2) имеет такую же точность, как и формула (1); во-вторых, полученные значения L для различных дат года несколько отличаются друг от друга. К тому же вычисление лунного

числа по формуле (2) занимает некоторое время, что снижает оперативность работы.

Чтобы уменьшить влияние даты года на значение лунного числа, в методе [7] предлагается вычислять лунное число как среднее значение для нескольких дат текущего года. Этот метод дает среднеквадратическую погрешность в вычислении, связанную с усреднением различных значений L , и является очень громоздким, причем в нем не указано, сколько необходимо использовать дат года для расчета и по какому правилу их следует выбирать.

Формулирование целей статьи (постановка задачи)

Рассмотренные недостатки методов вычисления возраста Луны и определения лунного числа приводят к необходимости их устранения. Поэтому целями настоящей работы являются:

- введение дополнительной поправки за месяц в формуле (1), позволяющей приближенно вычислить возраст Луны с максимально возможной точностью;
- разработка метода аналитического вычисления лунного числа на большом интервале времени;
- разработка метода быстрого определения лунного числа на текущий год при помощи МАЕ или «The Nautical Almanac» без вычисления его значения по формуле (1).

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных результатов

Лунный год имеет продолжительность 12 синодических месяцев и приблизительно на 11 суток короче, чем тропический и календарный годы. Таким образом, любому тропическому или календарному году Y соответствует лунное число $L(Y)$, постоянное для всего года, которое должно удовлетворять условию

$$L(Y + 1) = L(Y) + 11. \quad (3)$$

Для практического применения формулы (1) нужно знать лунное число L для данного календарного года Y , т.е. необходимо вычислить функцию $L(Y)$. Это можно осуществить в первом приближении при помощи простого метонова цикла [9,10], представляющего собой 19-летний цикл, внутри которого выполняется условие (3). Период такого цикла полагается равным в точности 19 годам.

За начало простого метонова цикла удобно принять год Y_0 , для которого $L = 0$. Тогда Y_0 будет первым годом этого цикла, а последним, 19-м годом цикла будет $Y_0 + 18$. Данный цикл, отсчитываемый от года Y_0 , называется текущим. Год $Y_0 + 19$ уже будет первым годом следующего цикла. Вследствие периодичности цикла должно выполняться условие его замкнутости

$$L(Y_0 + 19) = 0. \quad (4)$$

В работе [9] показано, что для нынешнего текущего метонова цикла его первый год $Y_0 = 1998$. Тогда для нынешнего простого метонового цикла составим таблицу лунных чисел (таблица 1), вычисленных по формуле (3) и удовлетворяющих условию (4).

Зная лунное число, можно вычислить возраст Луны по формуле (1) с точностью до 2 суток на протяжении одного календарного года.

Формула (1) не может обеспечить необходимой точности вычисления возраста Луны в течение календарного года, т.к. она была получена для среднего календарного месяца, а истинные календарные месяцы имеют различную продолжительность. Для повышения точности в формулу (1) необходимо ввести дополнительную поправку K за месяц к возрасту Луны.

Таблица 1. Лунные числа в простом метоновом цикле

Y	$Y - Y_0$	L									
1998	0	0	2003	5	25	2008	10	20	2013	15	15
1999	1	11	2004	6	6	2009	11	1	2014	16	26
2000	2	22	2005	7	17	2010	12	12	2015	17	7
2001	3	3	2006	8	28	2011	13	23	2016	18	18
2002	4	14	2007	9	9	2012	14	4	2017	19	0

В работе [9] на основе анализа продолжительности календарных месяцев установлено, что дополнительная поправка зависит от номера месяца в году и принимает следующие значения: $K = 2$ для января ($M = 1$) и февраля ($M = 2$), $K = 1$ для сентября ($M = 9$) и ноября ($M = 11$), $K = 0$ для остальных месяцев. Тогда формула для вычисления возраста Луны с учетом дополнительной поправки будет иметь вид:

$$B = L + M + D + K. \quad (5)$$

Формула (5) является более точной, чем формула (1), и позволяет вычислить возраст Луны с точностью до 0,5 суток на протяжении текущего метонова цикла.

В работе [9] получена аналитическая формула для вычисления лунного числа в простом метоновом цикле:

$$L(Y) = 30 \left\{ \frac{11(Y - Y_0)}{30} \right\}, \quad (6)$$

где фигурные скобки означают дробную часть заключенного внутри них выражения. Функция $L(Y)$, выражаемая формулой (6), является периодической с периодом, равным $P = \frac{30}{11} = 2,7272727$ года, и принимает целочисленные значения от 0 до 29. Внутри каждого периода функция $L(Y)$ непрерывно линейно возрастает с увеличением разности $Y - Y_0$.

Формула (6) позволяет аналитически вычислить все значения лунных чисел для любого календарного года Y при сплошной нумерации годов и точно воспроизводит значения лунных чисел внутри текущего цикла, приведенные в

таблице 1. Однако ее применение за пределами текущего цикла некорректно, так как нарушается условие (4) и такой цикл является незамкнутым, что приводит к накоплению систематической погрешности. Можно замкнуть простой метонов цикл, записав формулу (6) для текущего цикла в виде следующего выражения:

$$L = 30 \left\{ \frac{11(n-1)}{30} \right\}, \quad (7)$$

где

$$n = Y - Y_0 + 1. \quad (8)$$

Формулы (7) и (8) применимы только внутри каждого текущего цикла. В формуле (7) применяется циклическая нумерация годов, которая неудобна для использования за пределами текущего цикла. Чтобы найти лунное число в соседнем цикле, нужно за первый год ($n=1$) в этом цикле принять другое значение Y_0 , отличающееся на 19 лет от прежнего, и подставить его в формулу (8). Тогда этот соседний цикл уже сам становится текущим. Таким способом, при помощи формулы (7), можно вычислить лунное число в первоначально заданном текущем простом замкнутом метоновом цикле с точностью ± 1 сутки, который теперь принимается за основной текущий цикл, а также в двух соседних текущих циклах (предыдущем и последующем) с точностью ± 2 суток. Если известно только одно значение года Y_0 основного текущего цикла, то для циклов, более удаленных от него по времени, погрешность определения первого года существенно увеличивается.

В простом замкнутом метоновом цикле можно перейти от циклической нумерации годов к сплошной, если полагать номер года n в цикле равным увеличенному на 1 остатку от деления разности $Y - Y_0$ на 19, записав формулу (8) в виде

$$n = 19 \left\{ \frac{Y - Y_0}{19} \right\} + 1. \quad (9)$$

В этом случае n принимает целочисленные значения от 1 до 19, повторяющиеся циклически при сплошной нумерации годов. Формула (9) автоматически переопределяет значения Y_0 для различных текущих циклов по одному начальному значению года Y_0 основного текущего цикла, что искусственно замыкает каждый цикл. Внутри каждого цикла выполняется условие (3), но на его границе лунное число увеличивается уже не на 11, а на 12. Таким образом, лунное число в цикле меняется неравномерно, т.е. нарушается линейность его изменения в последнем периоде. Нелинейность изменения лунного числа приводит к нарушению его периодичности внутри цикла.

Для привязки метонова цикла к календарному году Y необходимо найти первый год Y_0 основного текущего цикла, для которого $L=0$. Это позволит вычислить лунное число для данного года по формуле (7). Однако накопление

ошибок в формуле (7) требует постоянного уточнения значения лунного числа. Для этого проводится независимое вычисление истинного возраста Луны для определенной даты данного года с помощью астрономических эфемерид.

Из формулы (5) следует, что в каждом году существует 12 календарных дат, для которых возраст Луны равен лунному числу, т.е. $B = L$. Это возможно при выполнении условия

$$M + D + K = 30. \quad (10)$$

Дни года, для которых выполняется условие (10), называются лунными датами [9]. Лунные даты года приводятся в таблице 2.

Таблица 2. Лунные даты года

M	D	K	Лунная дата	M	D	K	Лунная дата
1	27	2	27 января	7	23	0	23 июля
2	26	2	26 февраля	8	22	0	22 августа
3	27	0	27 марта	9	20	1	20 сентября
4	26	0	26 апреля	10	20	0	20 октября
5	25	0	25 мая	11	18	1	18 ноября
6	24	0	24 июня	12	18	0	18 декабря

Определив в любую лунную дату возраст Луны B из астрономических эфемерид, легко найти лунное число L для данного календарного года по формуле $L = B$.

Изменение продолжительности синодического месяца, различная продолжительность календарных месяцев и несоизмеримость календарного и лунного года приводит к тому, что значения возраста Луны для различных лунных дат года будут несколько отличаться друг от друга. Поэтому лунное число следует определять для середины года. Середина тропического года обычно приходится на 2-3 июля, следовательно, согласно таблице 2, лунной датой, ближайшей к середине года, является 24 июня. Эта дата называется главной лунной датой года [9]. Таким образом, лунное число для любого календарного года численно равно округленному до ближайшего целого возрасту Луны на среднюю гринвичскую полночь главной лунной даты этого года (24 июня).

Истинные значения возраста Луны, вычисленные по астрономическим эфемеридам на $T_{гр} = 0^h 00^m$ главной лунной даты каждого года Y нынешнего текущего метонова цикла, и соответствующие им значения лунного числа приведены в таблице 3.

Таблица 3. Истинные значения возраста Луны и лунного числа для главных лунных дат

<i>Y</i>	<i>B</i>	<i>L</i>									
1998	29,4	0	2003	23,8	24	2008	20,2	20	2013	15,3	15
1999	10,2	10	2004	6,1	6	2009	1,2	1	2014	26,2	26
2000	21,5	22	2005	17,1	17	2010	11,5	12	2015	7,4	7
2001	2,5	3	2006	27,8	28	2011	22,1	22	2016	18,9	19
2002	13,0	13	2007	8,9	9	2012	4,4	4	2017	29,4	0

При вычислении лунного числа для 1998 и 2017 годов округлялось до ближайшего целого не значение возраста Луны B , а разность $B - S$, в обоих случаях равная $-0,1$ суток.

Таким образом, приняв нынешний текущий цикл за основной и, полагая для 1998 года $n = 1$, с помощью таблицы 1 или формулы (7) можно вычислить лунное число для любого года текущего цикла и, подставив его в формулу (5), найти возраст Луны.

Сравнение значений лунных чисел для простого метонова цикла, приведенных в таблице 1, с их истинными значениями, приведенными в таблице 3, показывает некоторые отличия в пределах около 1 суток. Эти отличия приводят к нарушению выполнения условия (3) и связаны с погрешностью округления, а также с несовершенством простого метонова цикла.

Применение формул (6) и (7) для простого метонова цикла приводит к погрешности вычисления лунного числа, что связано с жестким навязыванием условия (3) при выводе этих формул. Поэтому в работе [10] автором была получена формула со сплошной нумерацией годов (определение значения Y_0 осуществляется только один раз), позволяющая вычислить лунное число с максимально возможной точностью ($\pm 0,5$ суток) для любого года Y как внутри текущего цикла, так и за его пределами, на большом интервале времени.

$$L = 30 \left\{ \frac{(11 + \mu)(Y - Y_0)}{30} \right\}. \quad (11)$$

где μ – вековая поправка для лунного числа.

Для простого метонова цикла $\mu = 0$, и из выражения (11) получается формула (6). Следовательно, он является первым приближением метонова цикла, т.е. частным случаем более сложного цикла, выражаемого формулой (11). Этот сложный цикл, свободный от недостатков простого метонова цикла, называется усредненным метоновым циклом. Он является вторым приближением метонового цикла. Период усредненного метонова цикла составляет в точности 19 лет, поэтому он должен быть замкнутым с периодическим изменением лунного числа.

В работе [10] был найден период изменения лунного числа в усредненном метоновом цикле, равный $P = \frac{19}{7} = 2,7142857$ года, а по нему вычислена вековая

поправка для лунного числа, равная $\mu = \frac{1}{19} = 0,0526316$. Используя формулу (11), составим таблицу лунных чисел для нынешнего усредненного метонова цикла, отсчитываемого от начального года $Y_0 = 1998$ (таблица 4).

Таблица 4. Лунные числа нынешнего усредненного метонова цикла

Y	L^*	L									
1998	0,000	0	2003	25,263	25	2008	20,526	21	2013	15,789	16
1999	11,053	11	2004	6,316	6	2009	1,579	2	2014	26,842	27
2000	22,105	22	2005	17,368	17	2010	12,632	13	2015	7,895	8
2001	3,158	3	2006	28,421	28	2011	23,684	24	2016	18,947	19
2002	14,211	14	2007	9,474	9	2012	4,737	5	2017	0,000	0

В таблице 4 приведены значения L^* лунных чисел, непосредственно вычисленные по формуле (11), и их окончательные значения L , округленные до ближайшего целого. Равномерная последовательность значений L^* свидетельствует о строгой периодичности изменения лунного числа внутри цикла в соответствии с выполнением условия (4). Таким образом, при помощи формулы (11), округлив ее результат до ближайшего целого, можно вычислить лунное число как в текущем усредненном метоновом цикле с точностью $\pm 0,5$ суток, так и на значительном интервале времени (до десятка предыдущих и последующих циклов) с точностью ± 1 сутки. При этом нумерация годов Y является сплошной, т.е. должно быть известно только одно значение года Y_0 начала цикла, определяемое всего один раз.

Формула (11) для вычисления лунного числа является универсальной, так как она применима ко всем рассмотренным видам лунно-солнечного цикла как ее частным случаям.

Для быстрого вычисления возраста Луны по формулам (5) и (11) не требуется сложного программирования на ЭВМ или ПК, вполне достаточно самого простого калькулятора.

Лунные даты года позволяют вычислить среднее значение лунного числа за год, если в этом есть необходимость. Его можно найти как среднее арифметическое значений возраста Луны B_i на $T_{гр} = 0^h00^m$ лунной даты каждого месяца:

$$\bar{B} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N B_i, \quad (12)$$

где N – число взятых лунных дат. При использовании всех лунных дат года $N = 12$. В этом случае значения возраста Луны B_i являются равноточными и распределены равномерными интервалами времени по всему году. Среднюю квадратическую погрешность (СКП) величины \bar{B} можно найти по формуле

$$S_{\bar{B}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \Delta B_i^2}{N \cdot (N-1)}}, \quad (13)$$

где $\Delta B_i = B_i - \bar{B}$ – отклонение возраста Луны от среднего. Тогда среднее лунное число L за год можно записать как среднее значение \bar{B} , округленное до ближайшего целого.

Для нахождения лунного числа на данный год можно использовать МАЕ или «The Nautical Almanac». Рассмотрим пример. Найдем среднее лунное число на 2007 год при помощи МАЕ. Из ежедневных таблиц выбираем значения возраста Луны B_i на $T_{гр} = 0^ч$ для всех 12 лунных дат года и записываем в таблицу 5.

Таблица 5. Значения возраста Луны и лунного числа для лунных дат 2007 года

M	D	B	ΔB	ΔB^2	L	M	D	B	ΔB	ΔB^2	L
1	27	7,8	-0,6	0,36	8	7	23	8,5	+0,1	0,01	9
2	26	8,3	-0,1	0,01	8	8	22	9,0	+0,6	0,36	9
3	27	7,9	-0,5	0,25	8	9	20	8,5	+0,1	0,01	9
4	26	8,5	+0,1	0,01	9	10	20	8,8	+0,4	0,16	9
5	25	8,2	-0,2	0,04	8	11	18	8,0	-0,4	0,16	8
6	24	8,9	+0,5	0,25	9	12	18	8,3	-0,1	0,01	8

По формулам (12) и (13) вычислим $\bar{B} = 8,4$ и $S_{\bar{B}} = 0,11$ соответственно. Округлив значение \bar{B} до ближайшего целого, получим $L = 8$. Найденное значение лунного числа отличается на единицу от значения $L = 9$, приведенного в таблицах 1, 3 и 4, что свидетельствует о низкой точности метода. Эта процедура довольно громоздкая и трудоемкая, так как в формуле (12) \bar{B} вычисляется по 12 значениям B_i . Ее можно упростить, взяв для формулы (12) лунные даты на март, июнь, сентябрь и декабрь ($N = 4$), также равномерно распределенные по всему году. Тогда из формул (12) и (13) найдем $\bar{B} = 8,4$ и $S_{\bar{B}} = 0,23$ соответственно. Отсюда получим то же самое значение $L = 8$. Видно, что такое упрощение привело к увеличению СКП величины \bar{B} . Однако даже в этом случае требуется обработка 4 значений B_i , что тоже занимает много времени. К тому же при определении возраста Луны применяется только лунное число для середины года [3,9], а среднее значение лунного числа за год не используется. Поэтому для определения возраста Луны нет практической необходимости в вычислении среднего лунного числа за год по формуле (12).

Исходя из вышеизложенного материала настоящей работы, можно предложить следующие методы нахождения лунного числа на текущий год.

При помощи МАЕ или «The Nautical Almanac» лунное число можно найти:

- по любой лунной дате года;
- по главной лунной дате года;

- по дате ближайшего к середине года новолуния.

Определение лунного числа по любой лунной дате года осуществляется очень просто и быстро. Достаточно открыть ежедневные таблицы ежегодника и взять готовое значение возраста Луны B на интересующую нас лунную дату. Округлив его до ближайшего целого, получим лунное число L для данного месяца. Из таблицы 5 следует, что для разных лунных дат года значения возраста Луны различны (например, в 2007 году их разброс достигал $\pm 0,6$ суток), поэтому лунные числа для каждого месяца будут различны. Следовательно, найденное лунное число не будет постоянным на весь год, и такой метод следует считать некорректным.

Точно так же осуществляется определение лунного числа по главной лунной дате года (24 июня). В этом случае получим одно значение лунного числа для середины года, постоянное на весь год. Этот метод дает наиболее точное решение (точность $\pm 0,5$ суток).

Определить лунное число по дате ближайшего к середине года новолуния можно не только при помощи ежегодников МАЕ или «The Nautical Almanac», но и по любому другому ежегоднику или календарю, в котором приведены моменты фаз Луны по гринвичскому времени. Для этого достаточно открыть таблицу фаз Луны и взять из нее дату ближайшего к середине года новолуния D_N (с 15 июня по 15 июля). Если момент новолуния наступает до $T_{гр} = 12^h 00^m$, то дата D_N остается без изменений, если после – то значение D_N увеличивается на единицу. Тогда лунное число может быть найдено по формуле

$$L = 24 - D_N. \quad (14)$$

Если значение лунного числа в формуле (14) получится отрицательным, то его следует увеличить на 30. Точность этого метода составляет $\pm 0,6$ суток и обусловлена изменением продолжительности синодического месяца.

И, наконец, если нет под рукой ни ежегодника, ни календаря на текущий год, либо необходимо выполнить расчет на большом интервале времени, то лунное число может быть найдено по формуле (11) с вековой поправкой для усредненного метонового цикла.

Рассмотрим примеры определения возраста Луны.

Пример 1. Найти возраст Луны на 10 августа 2007 года. Сначала определим лунное число L для середины года при помощи МАЕ.

Первый метод. Из ежедневных таблиц найдем возраст Луны на главную лунную дату года (24 июня) $B = 8,9$. Округлив его до ближайшего целого, получим $L = 9$.

Второй метод. Из таблицы фаз Луны найдем момент ближайшего к середине года новолуния D_N . В интервале с 15 июня по 15 июля их будет два: 15 июня в $T_{гр} = 03^h 13^m$ и 14 июля в $T_{гр} = 12^h 04^m$. Момент первого новолуния наступает до $T_{гр} = 12^h 00^m$, поэтому $D_N = 15$. Для момента второго новолуния, наступающего

после $T_{гр} = 12^{\text{ч}}00^{\text{м}}$, получим то же самое значение $D_N = 15$. По формуле (14) вычислим лунное число $L = 9$.

Оба метода дают одно и то же значение лунного числа $L = 9$. Теперь, подставив в формулу (5) значения $M = 8$, $D = 10$ и $K = 0$, найдем возраст Луны $B = 27$ суток. В ежедневных таблицах МАЕ приведено значение возраста Луны $B = 26,5$ суток, которое отличается от найденного на 0,5 суток.

Пример 2. Найти возраст Луны на 15 февраля 2013 года. Сначала найдем лунное число L для середины года. Вычисление по формуле (11) для усредненного метонового цикла дает значение $L = 16$ (таблица 4). Тогда, подставив в формулу (5) значения $M = 2$, $D = 15$ и $K = 2$, найдем возраст Луны $B = 5$ суток. Это означает, что ближайшее предыдущее новолуние должно было наступить 10 февраля. Из астрономических эфемерид следует, что новолуние наступило 10 февраля 2013 года в $T_{гр} = 07^{\text{ч}}20^{\text{м}}$.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Предложена точная формула аналитического вычисления возраста Луны и новые методы определения лунного числа для применения в мореходной астрономии.

В дальнейшем рекомендуется практическое применение предложенных методов при изучении курса мореходной астрономии и использование их в штурманской практике на судах малого и дальнего плавания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Климишин И.А. Календарь и хронология / И.А. Климишин. – М.: Наука, 1990. – 480 с.
2. Селешников С.И. История календаря и хронология / С.И. Селешников. М.: Наука, 1977. – 224 с.
3. Красавцев Б.И. Мореходная астрономия / Б.И. Красавцев. – М.: Транспорт, 1986. – 255 с.
4. Синяев В.А. Мореходная астрономия / В.А. Синяев. – Одесса: Система сервис, 2004. – 151 с.
5. Алексишин В.Г. Практическое судовождение / В.Г. Алексишин, В.Т. Долгочуб, А.В. Белов. – Одесса: Фенікс, 2005. – 376 с.
6. Басанець М.Г. Основи судноводіння / М.Г. Басанець, В.В. Михальчук. – Одесса: Фенікс, 2003. – 316 с.
7. Верюжский Н.А. Мореходная астрономия / Н.А. Верюжский. – М.: РКонсульт, 2006. – 164 с.
8. Михальчук В.В. Теоретические основы мореходной астрономии / В.В. Михальчук. – Одесса: ОНМА, 2009. – 220 с.

9. Михальчук В.В. Уточнение возраста Луны в лунно-солнечном цикле// Вісник Астрономічної школи. – 2009.– Т.6,– №1.– С.69-72.
10. Михальчук В.В. Различные виды лунно-солнечного цикла и их применение для вычисления возраста Луны// Вісник Астрономічної школи.– 2012.– Т.8, – №1.–С.104-107.