

## ТОЧНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ ИСПЫТАНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Шаповалова Л.Н., Медведько С.Н.

Северо-кавказская государственная зональная машиноиспытательная станция, г. Зерноград, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье авторы определяют достоверность результатов эксплуатационно-технологической оценки при испытании сельскохозяйственных машин. В основу анализа точности результатов положены методы классической теории погрешностей. Полный анализ точности позволяет отслеживать влияния погрешности измерительных приборов и методов получения различных показателей на точность результатов вычислений на разных этапах математической обработки экспериментальных данных.

**Ключевые слова:** испытания сельскохозяйственных машин, эксплуатационно-технологические показатели, абсолютная погрешность, относительная погрешность.

## ACCURACY OF OPERATIONAL AND TECHNOLOGICAL INDICATORS WHEN TESTING AGRICULTURAL MACHINES

Shapovalova L. N., Medvedko S. N.

North-Caucasian state zonal the test machine station, Zernograd, Russian Federation

**Annotation.** In the article, the authors determine the reliability of the results of operational and technological evaluation when testing agricultural machines. The analysis of the accuracy of the results is based on the methods of the classical error theory. A complete accuracy analysis allows you to track the impact of measurement errors and methods for obtaining various indicators on the accuracy of calculation results at different stages of mathematical processing of experimental data.

**Keywords:** tests of agricultural machines, operational and technological indicators, absolute error, relative error.

Основные показатели сельскохозяйственных машин, определяемые инженером при проведении испытаний, выражаются приближенными числами, которые являются результатом прямых или косвенных измерений. На точность показателей оказывают влияние много причин: начальная погрешность измерительных приборов, методы определения показателей, математические методы обработки результатов измерений.

Цель исследований – нахождение точности эксплуатационно-технологических показателей, которые являются важными экономическими показателями при испытании новых образцов техники и выступают критериями эффективности в сравнении с серийными образцами.

В большинстве случаев результатом испытаний являются приближенные числа, которые получаются при прямых или косвенных измерениях.

Измерение – это нахождение числового значения некоторой физической величины опытным путем с помощью определенного средства измерения (линейки, вольтметра, секундомера и т.д.).

Прямое измерение – это нахождение числового значения физической величины непосредственно средством измерения.

Косвенное измерение – это нахождение числового значения физической величины по математической формуле, связывающей искомую величину с величинами, определяемыми прямыми измерениями.

Отклонение найденного значения физической величины в результате измерений от её истинного значения характеризуется погрешностью.

**Определение 1** Предельной абсолютной погрешностью приближенного значения  $a$  величины называется любое неотрицательное число  $\Delta_a$ , удовлетворяющее неравенству

Из формулы (1) по определению модуля действительного числа следует, что

$$-\Delta_a \leq A - a \leq \Delta_a \text{ или } a - \Delta_a \leq A \leq a + \Delta_a.$$

Это означает, что неизвестное точное значение  $A$  располагается на отрезке  $[a - \Delta_a; a + \Delta_a]$ .

Тот факт, что число  $a$  является приближенным значением числа  $A$  с предельной абсолютной погрешностью  $\Delta_a$ , принято записывать в виде:

$$A = a \pm \Delta_a. \quad (2)$$

Для объективной оценки качества измерений вводится понятие предельной относительной погрешности  $\delta_a$  приближенного числа  $a$  ( $a \neq 0$ ).

На практике для вычисления предельной относительной погрешности применяется следующая формула

$$\delta_a = \frac{\Delta_a}{|a|}. \quad (3)$$

Предельная относительная погрешность приближенного числа  $a$  является безразмерной величиной, поэтому её часто выражают в процентах

$$\delta_a = \frac{\Delta_a}{|a|} \cdot 100\%.$$

В данной работе мы под погрешностью будем понимать именно предельную погрешность, абсолютную (1) или относительную (3).

В работе [1] выделены основные группы погрешностей (ошибок), которые могут возникнуть при математической обработке всех результатов испытаний. В этой работе отмечено, что на точность окончательного результата оказывает влияние совокупность погрешностей: погрешность математической модели, погрешность используемого метода, начальная погрешность (погрешность начальных данных), погрешности округлений, погрешности арифметических операций (математических действий). Для нахождения погрешности результата следует учитывать все виды погрешностей.

С точки зрения самой операции измерения ошибки по их происхождению принято делить на: *систематические, случайные, личные и грубые* [2].

В основу классификации погрешностей можно положить различные принципы. Но по происхождению все погрешности, встречающиеся в математических задачах, можно разбить на пять основных групп [3].

**Погрешности математической модели.** Математическое описание изучаемого явления редко точно отображает реальное явление: обычно оно дает лишь приближенную идеализированную модель. Погрешность, которая является следствием несоответствия математического описания задаче реальной действительности, называют погрешностью математической модели. Эту погрешность относят к неустранимой погрешности.

**Погрешности метода.** Зачастую бывает так, что поставленную математическую задачу решить точными методами трудно или даже невозможно. Погрешность, которая связана со способом решения поставленной задачи, называется погрешностью метода. В некоторых задачах для отыскания решения приходится заменять исходную математическую модель другой более простой. При разработке различных математических методов закладываются возможности отслеживания таких погрешностей и доведения их до сколь угодно малого уровня, поэтому погрешность метода можно отнести к устранимой погрешности.

**Начальная погрешность.** Погрешности, связанные с наличием в математических формулах числовых параметров, значения которых могут быть определены лишь приближенно, называются начальными погрешностями. Эти погрешности дают все физические константы и числовые значения величин, которые получены с помощью измерений с некоторой точностью. Погрешность приближенного числа, которая возникает в процессе измерений, соответственно можно отнести к начальной погрешности.

**Погрешности округлений.** В эту группу входят погрешности, связанные с системой счисления. В десятичной системе (или любой другой позиционной системе) изображения даже рациональных чисел справа от запятой может иметь бесконечное число цифр. Например, дробь  $\frac{1}{3}$  (или 0,333...) является бесконечной десятичной периодической дробью. При вычислениях, очевидно, можно использовать лишь конечное число таких цифр. Так возникает погрешность округления. Часто приходится округлять и конечные числа, имеющие большое количество знаков.

**Погрешности арифметических операций.** Производя вычисления с приближенными числами, погрешности исходных данных в какой-то мере мы переносим в результат вычислений. Погрешности, связанные с математическими действиями над приближенными числами, называются погрешностями арифметических операций. Погрешности арифметических операций являются неустранимыми.

Все указанные виды погрешностей влияют на окончательный результат. Однако часто бывает, что при решении конкретной задачи те или иные погрешности отсутствуют, или влияние их ничтожно и ими можно пренебречь.

В данной работе мы рассмотрим только такие погрешности, которые существенно влияют на точность эксплуатационно-технологической показателей при испытаниях машин: начальная погрешность, погрешности арифметических операций, погрешности округлений.

При проведении эксплуатационно-технологической оценки сельскохозяйственной техники определяют следующие показатели: рабочую скорость и рабочую ширину захвата, производительности (в час основного, технологического, сменного и эксплуатационного времени), эксплуатационно-технологические коэффициенты, удельный расход топлива за время сменной работы. Каждый из этих показателей определяется согласно ГОСТ 24055-2016 косвенными измерениями [4]. Точность получаемых при измерениях числовых значений зависит от погрешности измерительных приборов (начальная погрешность), погрешности вычислений (погрешности арифметических операций), погрешности округлений. Формулы нахождения арифметических погрешностей в [1] позволяют сделать оценку каждого показателя только при известном значении приближенных чисел, поэтому процесс определения абсолютной погрешности мы проведем на примере результатов испытаний культиватора для междурядной обработки почвы КРНГ-5,6 [5]. Результаты измерений и погрешности средств измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1- Результаты измерений и погрешности средств измерений при испытании КРНГ-5,6

Показатель	Обозначение	Значение	Прибор измерения	Погрешность измерительного прибора
Ширина обработанного участка, м	$b_y$	67,2	Сажень 2 м	2 см
Длина гона, м	$L_\phi$	1777	Сажень 2 м	2 см
Время основной работы за время наблюдения, с	$T_{1\phi}$	7676	Секундомер СОСпр-26-2000	0,3 с
Количество циклов, шт.	$N_y$	12	-	-
Расход топлива за время наблюдения, л	$Q_{наб}$	36	Счетчик жидкости с овальными шестернями унифицированный типа ППО-25-1,6	0,5 л
Время на повороты за время наблюдения, с	$T_{21\phi}$	325	Секундомер СОСпр-26-2000	0,3 с
Количество поворотов, шт.	$N_n$	12	-	-
Время на технологическое обслуживание, с	$T_{23\phi}$	598	Секундомер СОСпр-26-2000	0,3 с
Количество загрузок, шт.	$N_z$	4	-	-

Начальная погрешность чисел, полученных при испытаниях, определяется по измерительному прибору. Правило записи приближенных чисел и возможность использования в арифметических операциях конечного числа *верных* и *сомнительных* значащих цифр четко связано на всех этапах математической обработки со значением абсолютной погрешности. Для каждой цифры приближенного числа  $a$  вводится следующее определение.

**Определение 2** Значащая цифра в записи приближенного числа  $a = a_n \dots a_1 a_0, a_{-1} a_{-2} \dots a_{-m}$  называется *верной* в строгом (узком) смысле, если абсолютная погрешность  $\Delta_a$  не превышает половины единицы разряда этой цифры, т.е. выполняется неравенство

$$\Delta_a \leq 0,5 \cdot 10^k, \quad (4)$$

где  $k = n, \dots, 1, 0, -1, \dots, -m$  ( $n, m$  - натуральные числа). Цифра в записи приближенного числа  $a$ , для которой не выполняется условие (4), называется *сомнительной*.

Сформулируем правило при работе с приближенными числами: в промежуточных результатах вычислений обычно сохраняют одну-две (в крайнем случае три) сомнительные цифры, а окончательные результаты округляют с сохранением не более одной сомнительной цифры (то есть сохраняют одну, следующую за верной).

Проведем для примера здесь пошаговый анализ точности результатов измерений основной производительности при испытании культиватора для междурядной обработки почвы КРНГ-5,6.

В результате измерений фактического времени основной работы  $T_{1\phi}$ , с, культиватора в течение 12 циклов получено число 7676 с точностью  $\Delta T_{1\phi} = 12 \cdot 0,3 = 3,6$  (с). Переведем эти значения в часы, получим

$$T_{1\phi} = 2,1322 \text{ (ч)}, \quad \Delta T_{1\phi} = 0,001 \text{ (ч)}.$$

Длина гона, на котором производилась эксплуатационно-технологическая оценка культиватора, измерялась сажнем 2 м, погрешность 2 см, что соответствует требованию ГОСТ 24055-2016, по которому относительная погрешность прибора равна 1%. В результате измерений длины гона  $L_\phi$ , м, получено число 1777 с точностью

$$\Delta L_\phi = 1777 \cdot 0,01 = 17,77,$$

$$\text{или } L_\phi = 1,777 \text{ (км)}, \quad \Delta L_\phi = 1,777 \cdot 0,01 = 0,01777 \text{ (км)}.$$

Ширина обработанного участка  $b_y$ , м, также измерялась сажнем. В результате измерений получено число 67,2 с погрешностью  $\Delta b_y = 67,2 \cdot 0,01 = 0,672$  (м), то есть

$$b_y = 67,2 \text{ (м)}, \quad \Delta b_y = 0,672 \text{ (м)}.$$

Согласно [4], фактический объем работ  $F$ , га, определяется по формуле

$$F = \frac{L_\phi \cdot b_y}{10} = \frac{1,777 \cdot 67,2}{10} = 11,941 \text{ (га)}.$$

Погрешность числа 11,941 найдем по следующей формуле [1]

$$\Delta F = \frac{1}{10} \cdot (L_\phi \cdot \Delta b_y + b_y \cdot \Delta L_\phi) = \frac{1}{10} \cdot (1,777 \cdot 0,672 + 67,2 \cdot 0,01777) = 0,2388 \text{ (га)}.$$

Полученное значение абсолютной погрешности  $\Delta F = 0,2388$  (га) позволяет определить верные и сомнительные цифры в значении  $F = 11,941$  (га). Проверка условия (4) для каждой цифры числа показывает, что в записи десятичного числа 11,941 целая часть записана верными цифрами, дробная часть (три цифры) - сомнительными. Для дальнейших вычислений сохраним все цифры.

Производительность за один час основного времени  $W_0$ , га/ч, вычисляют по формуле

$$W_0 = \frac{F}{T_{1\phi}} = \frac{11,941}{2,1322} = 5,6003 \text{ (га/ч)}.$$

Определим погрешность полученного числа по следующей формуле

$$\Delta W_0 = \frac{T_{1\phi} \cdot \Delta F + F \cdot \Delta T_{1\phi}}{T_{1\phi}^2} = \frac{2,1322 \cdot 0,2388 + 11,941 \cdot 0,001}{(2,1322)^2} = 0,1146 \text{ (га/ч)}.$$

Проведем анализ. Зная погрешность  $\Delta W_0 = 0,1146$  (га/ч), определим какие цифры в записи числа  $W_0 = 5,6003$  (га/ч) являются верными, какие сомнительными. Проверка условия (4) для цифры 5:  $0,1142 \leq 0,5$ , следовательно, цифра 5 верная. Цифра 6 будет сомнительной, так как условие (4) не выполняется:  $0,1142 \geq 0,05$ . Значит, 6 и все остальные цифры являются сомнительными.

Произведем округление  $W_0$  до первой сомнительной цифры, получим число 5,6. Найдем погрешность округления  $\Delta_0 W_0 = |5,6 - 5,6003| = 0,0003$  (га/ч). Суммарная погрешность вычисления и округления составит  $0,0003 + 0,1146 = 0,1149$  (га/ч). По правилу записи арифметической погрешности число 0,1149 следует округлить в сторону увеличения с сохранением одной (реже двух) значащих цифр:  $\Delta W_0 = 0,2$  (га/ч).

Результат вычисления основной производительности культиватора запишем в виде (2):

$$W_0 = 5,6 \pm 0,2 \text{ (га/ч)}.$$

Аналогичным образом проводится анализ точности других эксплуатационно-технологических показателей. Следует отметить большую трудоемкость выполнения этого анализа, которая обусловлена сложными математическими выкладками.

Результаты вычисления всех эксплуатационно-технологических показателей культиватора для междурядной обработки почвы КРНГ-5,6 и их погрешности представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты эксплуатационно-технологических испытаний культиватора для междурядной обработки почвы КРНГ-5,6

Показатель	Значение показателя с погрешностью	Значение показателя
1	2	3
Режим работы: рабочая скорость м/с (км/ч) ширина захвата (с учетом перекрытий), м	2,8±0,2 (10,0±0,4) 5,6±0,06	2,8 (10,0) 5,6
Производительность, га/ч, за 1 ч: - основного времени - технологического времени - сменного времени - эксплуатационного времени	5,6±0,2 4,5±0,2 3,5±0,1 3,2±0,2	5,6 4,5 3,5 3,2
Удельный расход топлива за время сменной работы, кг/га	2,7±0,2	2,7
Эксплуатационно-технологические коэффициенты: - рабочих ходов - технологического обслуживания - надежности технологического процесса - использования технологического времени - использования сменного времени	0,94±0,03 0,98±0,02 1 0,80±0,02 0,625±0,005	0,94 0,98 1 0,80 0,62

**Выводы.** Точность приборов измерений и методы расчетов эксплуатационно-технологических показателей закладывают определенную точность отдельно каждого показателя. Полученная абсолютная погрешность каждого показателя влияет на форму записи результата. Из таблицы 2 (столбец второй) видно, что показатели эксплуатационно-технологических испытаний машин имеют различную абсолютную погрешность и допускают в записи различное количество значащих цифр. Следует отдельно заметить, что действующий нормативный документ [4] содержит рекомендации с представлением результатов испытаний, запись которых содержит три знака после запятой. Как показано в нашей работе на примере культиватора для междурядной обработки почвы КРНГ-5,6, указанная точность не обеспечивается, и только коэффициент использования сменного времени может быть представлен в рекомендуемом ГОСТом виде.

#### Список использованных источников

1. Погрешности измерений физических величин: методические указания по обеспечению достоверности обработки результатов измерений/ Шаповалова Л.Н., под ред. Белого И.Ф. Москва, ФГБНУ РОСИНОФОРМАГРОТЕХ, 2018. - 70 с.
2. Щиголев Б. М. Математическая обработка наблюдений. – М.: «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, 1970. – 344 с.
3. Демидович Б. П., Марон И. А. Основы вычислительной математики. – М.: «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, 1970. – 664 с.
4. ГОСТ 24055-2016 Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки

5. Результаты испытаний [Электронный ресурс]. Режим доступа:  
[http://skmis.ru/test/test\\_result.html](http://skmis.ru/test/test_result.html). Дата обращения: 15.12.2019 г.