

УДК 629.735.08 (075.8)
DOI: 10.26467/2079-0619-2019-22-1-18-28

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ НОРМАТИВОВ ЗАМЕНЫ КРЕПЕЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

А.С. СОЛОВЬЕВ¹

¹*Московский государственный технический университет гражданской авиации,
г. Москва, Россия*

Исследование методов получения временных нормативов работы с крепежными элементами позволило выявить их недостатки и преимущества для дальнейшего синтеза и оптимизации. Основной задачей являлось улучшение наиболее подходящего метода для учета максимального количества влияющих факторов. Экспериментальный метод имеет высокую точность, но требует высоких затрат на проведение работ на объектах-аналогах для каждого конкретного типа крепежного элемента. Расчетный метод, основанный на получении нормативов времени для различных крепежных элементов, по данным одного эксперимента, не требует больших затрат на получение нормативов времени. Однако так же, как и экспериментальный метод, расчетный метод не учитывает снижение производительности со временем непрерывной работы. Этот недостаток ведет к существенным погрешностям при получении нормативов для большого количества крепежных элементов. В работе показана оптимизированная модель расчетного метода, которая основывается на линейной аппроксимации интервалов графика зависимости числа снятых/установленных крепежных элементов от времени работы. Оптимизированная модель позволяет получить временные нормативы для типовых крепежных элементов с различными геометрическими характеристиками и учетом снижения производительности со временем. Для апробации улучшенного расчетного метода был проведен ряд экспериментов по замеру времени работы с крепежными элементами во время регламентных работ летательного аппарата. В результате были построены графики зависимости работы с однотипными крепежными элементами с учетом снижения производительности труда, которые целесообразно использовать как справочные данные для расчета показателей эксплуатационной технологичности на этапах разработки авиационной техники. Программная реализация данных методов и систематизация полученных временных нормативов позволяет улучшить ЭТХ за счет оптимизации количества и расположения крепежных элементов планера, агрегатов систем и оборудования разрабатываемого или модернизируемого летательного аппарата. Применение систем автоматизированного проектирования и анализа будет способствовать снижению трудоемкости при анализе эксплуатационной технологичности конструкций летательных аппаратов.

Ключевые слова: оценка временных характеристик, эксплуатационная технологичность, трудоемкость технического обслуживания и ремонта.

ВВЕДЕНИЕ

Конкурентоспособность отечественного самолета или вертолета на мировом рынке авиационной техники (АТ) обеспечивается в первую очередь его экономической эффективностью. Помимо таких основных экономических показателей, как стоимость АТ, стоимость комплектов, расход топлива и подобных, важным показателем является стоимость технического обслуживания и ремонта (ТОиР) АТ. Стоимость ТОиР во многом зависит от приспособленности конструкции АТ к проведению всех работ по обеспечению заданного уровня готовности к использованию и работоспособности в процессе использования [1]. С этой целью все элементы (агрегаты, блоки, оборудование и т. п.) функциональных систем (ФС) АТ обеспечиваются возможностью съема для их замены или ремонта. Время съема/установки элемента ФС во многом зависит от количества и времени съема/установки его крепежных элементов (КЭ), а использование расчетных микроэлементных нормативов времени для снятия/установки КЭ будет способствовать получению временных затрат ТОиР уже на стадиях разработки АТ, где внедрение конструктивных изменений с целью повышения экономической эффективности наиболее целесообразно [2, 3, 4].

Целью исследования являлось получение и уточнение универсальных моделей расчета замены КЭ, использование которых на этапах разработки воздушного судна будет способствовать получению достоверных нормативов времени его ТОиР.

МЕТОДЫ И МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Получение нормативов времени осуществимо несколькими методами:

- методом непосредственных замеров нормативов времени отдельно взятого крепежного элемента или группы КЭ при обслуживании имеющейся АТ;
- расчетным методом, основанным на аппроксимации функции зависимости времени установки/снятия типа КЭ от их геометрических характеристик и количества, полученной при проведении эксперимента.

Анализ метода непосредственных замеров нормативов времени

При методе непосредственных замеров нормативов времени t необходимо провести хронометраж выполнения работ по снятию/установке аналогичных КЭ на существующем объекте-аналоге. С целью повышения точности полученных результатов, необходимо провести несколько повторных замеров, а результатом считать их математическое ожидание:

$$t(n) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k t_i(n), \quad (1)$$

где $t_i(n)$ – время каждого замера снятия/установки n КЭ;

k – количество замеров.

Достоверным результатом принимается среднее значение замеров при условии различия между максимальным и минимальным значениями не более чем на 15 %. В случае различия более чем на 15 % необходимо выявить и устранить причину отклонений и повторить замеры.

Метод непосредственных замеров, по сути, является натурным экспериментом, главное достоинство которого – высокая достоверность полученных значений при соблюдении условий выполнения замеров. Однако получение универсальных показателей трудоемкости, например производительности труда исполнителя при съеме/установке КЭ, становится невозможным по ряду причин:

- отсутствует аналитическая связь времени съема/установки КЭ с их геометрическими характеристиками и количеством. Например, время снятия 20 винтов с длиной резьбы $l = 50$ мм будет существенно выше времени снятия того же количества винтов с $l = 20$ мм;
- метод не предусматривает возможность уточнения полученных временных характеристик при смене условий труда (например, при замене ручного инструмента на электрический с повышенной производительностью);
- отсутствует возможность использовать полученные экспериментальные данные для определения нормативов времени при работе с меньшим или большим числом одинаковых КЭ, т. к. не учитывается изменение производительности труда. Производительность труда исполнителя снижается со временем его непрерывной работы и представляет нелинейную зависимость. По полученным методом непосредственных замеров значениям представляется возможным вычислить только линейную зависимость.

Таким образом, получение временных характеристик методом непосредственных замеров заключается в проведении отдельных экспериментов для операции по ТОиР с различными КЭ и условиями труда.

Анализ расчетного метода получения нормативов времени

Расчетный метод основан на представлении операции по съему/установке КЭ в аналитический вид, исходя из физических свойств каждого типа КЭ (винтовое, болтовое, заклепочное соединения, замки и т. д.). Например, для резьбового соединения¹ [5] один оборот винта/гайки соответствует перемещению (выходу резьбы или сходу с резьбы для гайки) на расстояние, равное шагу резьбы p , а время съема/установки КЭ с длиной резьбы l будет представлено выражением

$$t(n=1) = \frac{l_3}{S \cdot v}, \quad (2)$$

где S – приведенная производительность, равная шагу резьбы p к одному обороту (мм/об);

v – частота вращения, сообщаемая винту (об/мин);

l_3 – длина резьбы, участвующая в зацеплении (рис. 1).

Длина резьбы винта, находящейся в зацеплении, рассчитывается как разность длины резьбы винта и толщины скрепляемых материалов, не участвующих в резьбовом соединении (рис. 1, поз. 1). Для болтовых соединений за параметр длины резьбы l_3 следует принимать сумму длины резьбы под гайкой (как правило, соответствующей толщине гайки) и оставшейся длины резьбы после нее (рис. 1, поз. 2). Аналогичное уточнение можно выполнить для получения временного интервала снятия/установки других резьбовых КЭ [6].

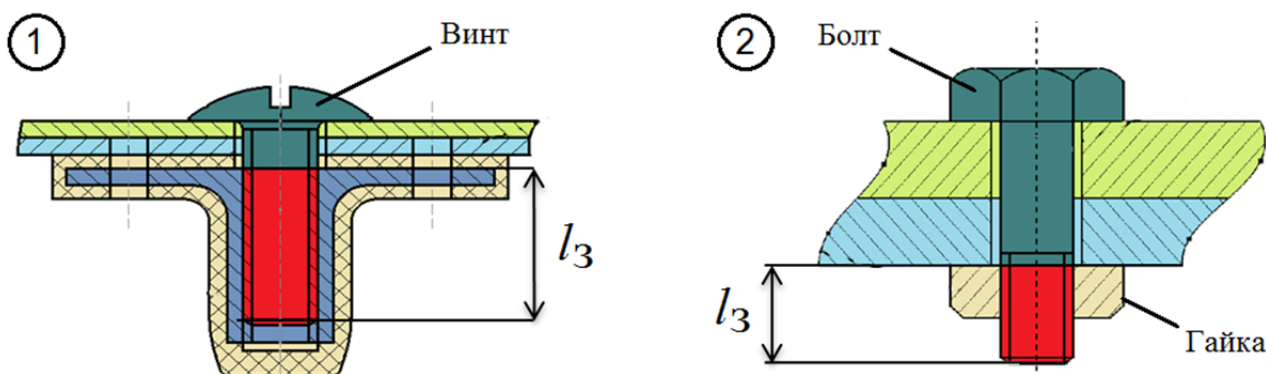


Рис. 1. К определению длины резьбы l_3 , участвующей в зацеплении
Fig. 1. To the definition of screw-thread l_3 length in its engagement

Тогда для определения времени съема/установки n винтов/болтов используем формулу

$$t(n \in N) = \frac{l_3}{S \cdot v} \cdot n. \quad (3)$$

Как видно, расчетный метод имеет аналитическую связь с геометрическими характеристиками, а также возможность смены условий труда, выраженных через частоту вращения, сообщаемую винту. Это позволяет, зная производительность v , рассчитывать временные характеристики для однотипных КЭ с различными геометрическими характеристиками.

¹ Справочник машиностроителя. Т. 1 / под ред. Н.С. Ачеркана. М.: Гос. научно-техническое изд-во машиностроительной литературы, 1956. 568 с.

Однако аналогично методу непосредственных замеров в расчетном методе не учитывается снижение производительности труда со временем непрерывной работы. Неучет этого факта ведет к значительным погрешностям при расчете времени снятия/установки КЭ.

Улучшение расчетного метода получения нормативов времени

При снижении производительности с течением времени частота вращения (производительность исполнителя) v в формуле (3) будет представлять функциональную зависимость от времени $v(t)$ или от количества снятых/установленных КЭ $v(n)$. Получение таких зависимостей в аналитическом виде возможно следующим путем.

1. Проведение хронометража работ на изделии, имеющем аналогичные КЭ с фиксированием временных значений после каждых k снятых/установленных КЭ.
2. Построение графика зависимости $n(t)$ для $v(t)$ или построение $t(n)$ для $v(n)$.
3. Аппроксимация полученной зависимости.
4. Подстановка аналитической зависимости $n(t)$ или $t(n)$ в формулу (3) и выражение из нее зависимости $v(t)$ или $v(n)$.

Прямая подстановка зависимости $v(t)$ в формулу (3) расчета временных характеристик снятия/установки винтовых КЭ приводит к рекурсивной функциональной зависимости, а подстановка $v(n)$ приводит к получению зависимости $t(n)$ только для одного типа КЭ с конкретно заданными геометрическими характеристиками.

Для получения универсальной модели расчета времени работы с однотипными КЭ необходимо полученный график зависимости $n(t)$ аппроксимировать несколькими линейными зависимостями с постоянной на каждом временном интервале производительностью (рис. 2).

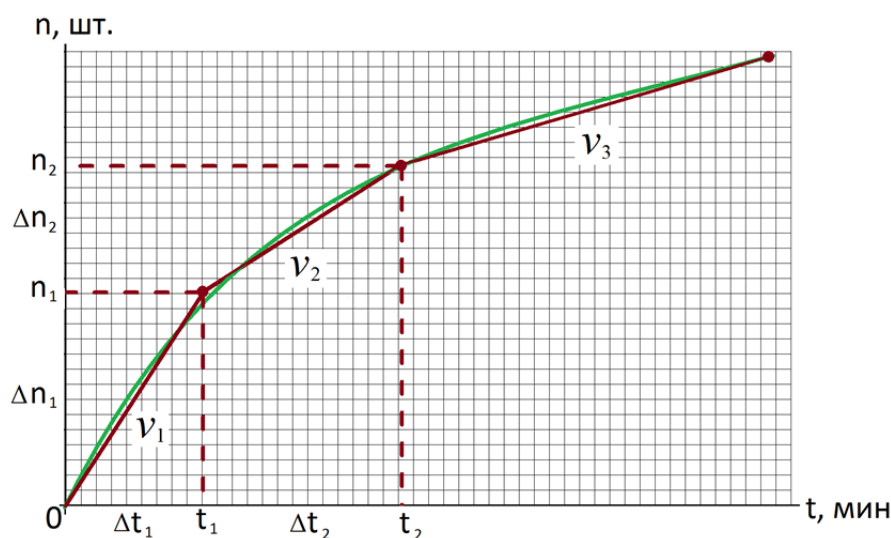


Рис. 2. К определению длины резьбы l_s , участвующей в зацеплении
Fig. 2. To the definition of screw-thread l_s length in its engagement

Для расчета частот вращения, сообщаемых винту на каждом временном интервале ($i = 1, 2, 3 \dots N$), преобразуем формулу (3):

$$v_i = \frac{l_s}{S \cdot \Delta t_i} \cdot \Delta n_i, \quad (4)$$

где Δt_i – время, необходимое для снятия Δn_i винтов на i -м интервале.

Достаточная аппроксимация (коэффициент детерминации $R^2 = 0,95...0,98$) зависимости времени снятия/установки КЭ от их количества достигается тремя временными интервалами: с максимальной, со средней и с минимальной производительностью.

Смена функциональных зависимостей при $i = 3$ происходит по достижении двух временных значений (t_1 и t_2), которые связаны с количеством снятых винтов соответственно:

$$n_1 = \frac{S \cdot v_1 \cdot \Delta t_1}{l_3}; \quad n_2 = n_1 + \frac{S \cdot v_2 \cdot \Delta t_2}{l_3}. \quad (5)$$

После нахождения числа КЭ, после снятия которых происходит снижение производительности, производится окончательный расчет времени замены КЭ от их количества:

при $n \leq n_1$

$$t(n) = t_1(n) = \frac{l_3 \cdot n}{S \cdot v_1}; \quad (6)$$

при $n_1 < n \leq n_2$

$$t(n) = t_1(n_1) + t_2(n - n_1) = \frac{l_3 \cdot n_1}{S \cdot v_1} + \frac{l_3 \cdot (n - n_1)}{S \cdot v_2} = \frac{l_3}{S} \left(\frac{n_1}{v_1} + \frac{n - n_1}{v_2} \right);$$

при $n > n_2$

$$t(n) = t_1(n_1) + t_2(n_2 - n_1) + t_3(n - n_2) = \frac{l_3}{S} \left(\frac{n_1}{v_1} + \frac{n_2 - n_1}{v_2} + \frac{n - n_2}{v_3} \right).$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для получения временных характеристик снятия/установки семейства однотипных КЭ необходимо экспериментально определить производительности труда на нескольких временных интервалах. Эксперименты по выявлению производительностей были проведены на базе ГУП «Севастопольское авиационное предприятие» (п-ов Крым, Российская Федерация) во время проведения 12-месячных регламентных работ вертолета Ка-226Т (рис. 2).

Например, был проведен ряд замеров времени непрерывного снятия винтов при демонтаже левых и правых обтекателей консолей фюзеляжа. Проведение хронометража осуществлялось сплошным методом с фиксированием временных значений после каждого 10 снятых винтов. По полученным значениям построены графики времени снятия винтов от их количества (рис. 3). По средним значениям графиков были аппроксимированы и построены 3 линейных участка на интервалах от 0 до 5 мин, от 5 до 12 мин и от 12 до 35 мин. Для каждого интервала с помощью формулы (4) рассчитаны постоянные частоты вращения, сообщаемые винту:

$v_1 = 58,7$ об/мин при $t \leq 5$ мин;

$v_2 = 34,3$ об/мин при $5 < t \leq 12$ мин;

$v_3 = 17,1$ об/мин при $t > 12$ мин.



Рис. 3. Таблица и графики замеров непрерывного снятия 73 винтов переднего левого и торцевого левого обтекателей консоли вертолета Ка-226Т

Fig. 3. A table and charts of measurements for continuous removal of 73 screws on the left front and left end trips of helicopter Ka-226T

По формулам (5), (6) получены зависимости времени съема необходимого количества винтов по ОСТ 1 31537-80 с шагом резьбы по ОСТ 1 00105-83 от их геометрических характеристик (рис. 4).

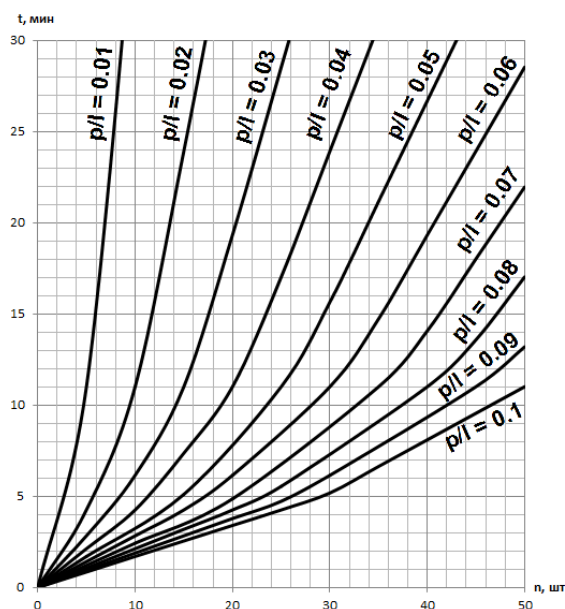


Рис. 4. Зависимости времени снятия винтов по ОСТ 1 31537-80 от их количества и геометрических характеристик (с использованием плоской отвертки, при удобной позиции исполнителя, времени перехода между КЭ менее 1 с, отсутствием фиксирующих элементов)

Fig. 4. Dependence of the screw removal time on the number and geometrical parameters (using a screwdriver with the optimal position of the performer, transfer time between the screws is less than 1 second, without fixing elements)

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Зависимости времени съема винтов, представленные на рис. 5, не учитывают операции, связанные со снятием фиксирующих элементов, рабочую позу, которую принимает исполнитель, и время перехода между винтами. Суммарное время снятия/установки фиксирующих элементов $t_{\phi}(m)$ допустимо представить как время снятия одного фиксирующего элемента на их количество m :

$$t_{\phi}(m) = t_{\phi}(m=1) \cdot m. \quad (7)$$

Значительное влияние на производительность, и соответственно на время выполнения работы, оказывает рабочее положение исполнителя. При неудобных рабочих позициях время выполнения работ может возрасти более чем в три раза [1]. Для оценки временных характеристик при различных рабочих позах исполнителя, необходимо учитывать поправочный коэффициент ко времени работы $k_{\text{поз}}$ (рис. 5).

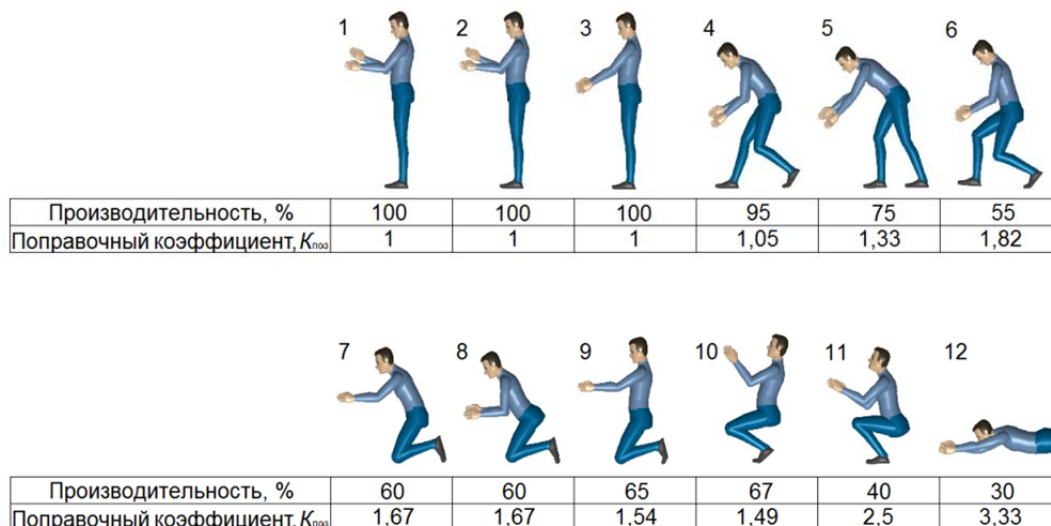


Рис. 5. Производительность труда и поправочный коэффициент рабочей позы исполнителя

Fig. 5. Labor productivity and correction factor of the performer position

Следует учесть, что поправочный коэффициент ко времени работы $k_{\text{поз}}$ влияет как на время съема/установки КЭ, так и на время съема/установки фиксирующих элементов.

В некоторых случаях для съема/установки крупных агрегатов или габаритных панелей необходимо учитывать время перехода между КЭ [8]. Для равноудаленных друг от друга КЭ с последовательным съемом/установкой суммарное время перехода рассчитывается как время перехода между соседними КЭ умноженное на их количество n :

$$t_n(n) = t_n(n=1) \cdot n. \quad (8)$$

Для других случаев расположения КЭ время перехода целесообразно рассчитывать с применением моделирования процессов ТОиР в системе автоматизированного проектирования и анализа (САПР) [2, 3].

С учетом дополнительных операций и влияющих факторов общая формула для съема/установки болтовых (винтовых) КЭ принимает следующий вид:

$$t(n) = (t^{100\%}(n) + t_{\phi}^{100\%}(m)) \cdot k_{\text{поз}} + t_n(n), \quad (9)$$

где $t^{100\%}(n)$ и $t_{\phi}^{100\%}(m)$ – время съема/установки n КЭ и m фиксирующих элементов при 100 % производительности труда.

Таким образом, расчетный метод для резьбовых соединений основывается на эмпирически полученных значениях v , которые зависят от типа инструмента, используемого для снятия/установки КЭ. Получение значений v возможно несколькими способами (проведение эксперимента для типа КЭ, получение значений из карт оценок временных характеристик на авиационных предприятиях, получение значений из справочников по нормативам труда), что существенно снижает затраты времени и труда по сравнению с методом непосредственных замеров.

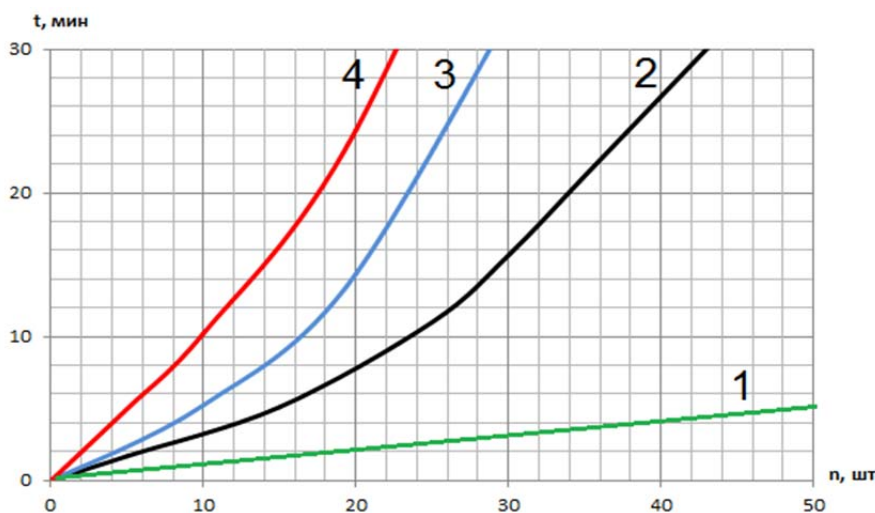


Рис. 6. Зависимость времени снятия винтов 4-12-кд по ОСТ 1 31537-80 в зависимости от используемого инструмента, дополнительных операций и влияющих факторов:

1 – время снятия винтов с использованием пневматического инструмента 200 об/мин, 2 – с использованием плоской отвертки; 3 – с учетом снижения производительности на 65 %; 4 – с учетом снятия фиксирующих элементов

Fig. 6. Dependence of the screw removal time on the type of instrument, additional operations and factors. The time of screws removal using pneumatic tools (1), screwdriver for slotted screws (2), given 65% labor productivity decrease (3) and given fixing elements removal

Снижению трудоемкости оценки временных характеристик технического обслуживания объекта на стадиях разработки АТ способствует систематизация временных нормативов снятия/установки КЭ. Систематизировать временные нормативы возможно путем составления справочных таблиц или графиков, созданием программного обеспечения или интеграцией электронных таблиц временных нормативов в САПР [6, 7]. Справочные таблицы или графики составляются для снятия/установки группы однотипных КЭ и требуют составления дополнительных поправочных таблиц (таблица установки/снятия фиксирующих элементов, позиции исполнителя и т. д.). При работе с ЭВМ существенному ускорению расчетов временных характеристик снятия/установки КЭ будет способствовать разработка программного обеспечения на основе расчетов по формулам (5–9) с учетом поправочных коэффициентов (рис. 7) [9].

Винт с плоско-выпуклой головкой

ОСТ 1 31537

12

0,75

Отвертка

Снятие

Отсутствует

Тип крепежного элемента

Стандарт

Длина резьбы, мм.

Шаг резьбы, мм.

Инструмент

Операция

Стопование

Изображение КЭ

Инструмент

Поза исполнителя

Количество элементов, шт. 20

Время, мин. 6

Внесение экспериментальных данных

Количество элементов, шт.	10	20	30	40	50	60
Время, мин.						

Внести данные

Рис. 7. Пример интерфейса программы для расчета нормативов времени для КЭ
Fig. 7. The example of the program interface for calculating time standard of fasteners

Наиболее рациональным с точки зрения оценки временных характеристик при разработке АТ является интеграция электронных таблиц в САПР. Для этого в программное обеспечение, которым пользуется разработчик, встраивается модуль (макрос) электронных таблиц, который информирует разработчика о времени съема/установки при выборе того или иного типа КЭ. Модуль электронных таблиц заполняется в полуавтоматическом режиме с использованием формул расчетного метода оценки временных характеристик, что позволяет сократить время его разработки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При сравнении метода непосредственных замеров и расчетного метода последний имеет преимущество, заключающееся в отсутствии необходимости проведения регулярных натурных замеров времени на существующих объектах, что значительно уменьшает время и затраты на получение временных нормативов снятия/установки крепежных элементов. Однако в нем, так же как и в методе непосредственных замеров, не учитывается снижение производительности труда со временем непрерывной работы, что ведет к значительным погрешностям при расчете времени снятия/установки КЭ. Для оценки временных показателей всех крепежных элементов авиационной техники с учетом снижения производительности исполнителя со временем непрерывной работы, была представлена модель улучшенного расчетного метода, которая позволяет получить достоверные временные характеристики для большинства типов крепежных элементов. С целью повышения точности получаемых результатов при использовании данных методов был разработан алгоритм учета влияющих факторов (снижение производительности из-за рабочей позиции исполнителя, время перехода между крепежными элементами и др.).

Таким образом, с учетом влияющих факторов разработанные и представленные методы получения нормативов времени съема и установки крепежных элементов будут способствовать получению временных характеристик работы с крепежными элементами для последующей оценки продолжительности и трудоемкости ТОиР авиационной техники на этапах ее создания, что позволит своевременно внести конструктивные доработки и избежать лишних затрат труда времени и средств на ТОиР. Программная реализация данных методов и систематизация полученных значений позволит существенно снизить трудоемкость работ при проведении работ по анализу эксплуатационной технологичности конструкции летательного аппарата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Смирнов Н.Н., Чинючин Ю.М.** Эксплуатационная технологичность летательных аппаратов. М.: Транспорт, 1994. 256 с.
2. **Чинючин Ю.М.** Технологические процессы технического обслуживания летательных аппаратов. М.: Университетская книга, 2008. 408 с.
3. **Смирнов Н.Н., Чинючин Ю.М.** Основы теории технической эксплуатации летательных аппаратов: учебник. М.: МГТУ ГА, 2015. 505 с.
4. **Чинючин Ю.М.** Модель и основные принципы управления эксплуатационной технологичностью магистральных самолетов // Техническая эксплуатация летательных аппаратов в условиях ускорения научно-технического прогресса: межвуз. темат. сб. науч. тр. М.: МИИГА, 1989. С. 16–22.
5. **Орлов П.И.** Основы конструирования: справочно-методическое пособие. М.: Машиностроение, 1988. 560 с.
6. **Климов Ю.М.** Детали механизмов авиационной и космической техники / Е.А. Самойлов, Н.Л. Зезин, В.В. Ефанов, В.А. Комков, В.М. Мельников, Ю.Б. Михайлов, В.Н. Моторин, А.Д. Павлов, Д.Е. Самойлов, В.С. Сыромятников, И.А. Тимофеев, Т.Ю. Чуркина. М.: МАИ, 1996. 344 с.
7. **Басов К.А.** CATIA V5. Геометрическое моделирование. М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. 269 с.
8. **Moir I., Seabridge A.** Aircraft systems. Mechanical, electrical, and avionics subsystems integration. Chichester: John Wiley & Sons, 2008. 536 с.
9. **Walkenbach J.** Excel 2010 Power Programming with VBA. 2012. Indianapolis: John Wiley & Sons, 920 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Соловьев Алексей Сергеевич, аспирант кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и авиационных двигателей Московского государственного технического университета гражданской авиации, soloviev-avia@yandex.ru.

RESEARCH OF TIME STANDARD DEFINITION METHODS OF AIRCRAFT FASTENERS REPLACEMENT

Alexey S. Solov'ev¹

¹*Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia*

ABSTRACT

The study of the methods revealed their advantages and disadvantages for further synthesis and optimization. The main task was to improve the most suitable method, which will have the maximum number of affecting factors. The experimental method is highly accurate, but it requires high costs to work on analogues for each specific type of fasteners. The calculated method based on a single experiment allows to determine time standards for various fasteners. The given method does not require high costs for experiments, but like the experimental method, does not take into account performance degradation with continuous operation time. This leads to serious errors in obtaining time standards for a large number of fasteners. The article shows the optimized model of calculated method, based on a linear approximation of dependence of the number of fasteners replacements (removals/installations) on time at multiple intervals. The optimized model allows to obtain time standards of typical fasteners replacement with different geometric characteristic taking into account performance degradation over time. Several experiments on the aircraft were conducted for testing the improved calculated method. On the basis of the experimental data the researchers built graphs of the number of

fasteners replacements (removal/installation) on time with different geometric characteristics taking into account performance degradation over time. The data obtained is advisable to use for calculation maintainability factors on aircraft design stages. Program realization of these methods and systematization of the received time standards allow to improve maintainability, due optimization number and position of airframe fasteners and systems units and aviation equipment for the aircraft being designed and modernized. Application of the automated systems of design and analysis will contribute to labor input decrease at the aircraft maintainability analysis.

Key words: time standards assessment, maintainability, man-hours of maintenance and repair.

REFERENCES

1. Smirnov, N.N. and Chinyuchin, Yu.M. (1994). *Ekspluatatsionnaya tekhnologichnost letatelnykh apparatov* [Maintainability of aircraft]. Moscow: Transport, 256 p. (in Russian)
2. Chinyuchin, Yu.M. (2008). *Tekhnologicheskiye protsessy tekhnicheskogo obsluzhivaniya letatelnykh apparatov* [Technological processes of aircraft maintenance]. Moscow: Universitetskaya kniga, 408 p. (in Russian)
3. Smirnov, N.N. and Chinyuchin, Yu.M. (2015). *Osnovy teorii tekhnicheskoy ekspluatatsii letatelnykh apparatov* [Bases of aircraft technical operation theory]. *Uchebnik* [Textbook]. Moscow: MSTUCA, 505 p. (in Russian)
4. Chinyuchin, Yu.M. (2015). *Model i osnovnyye printsipy upravleniya ekspluatatsionnoy tekhnologichnostyu magistralnykh samoletov. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya letatelnykh apparatov v usloviyakh uskoreniya nauchno-tekhnicheskogo progressa* [Technical operation of aircraft in terms of accelerating scientific and technological progress]. *Mezhvuz. tematich. sb. nauch. tr.* [Interuniversity Proceedings]. Moscow: MIIGA, 505 p. (in Russian)
5. Orlov, P.I. (1988). *Osnovy konstruirovaniya* [Bases of design] *Spravochno-metodicheskoye posobiye* [Methodical manual]. Moscow: Mashinostroenie, 560 p. (in Russian)
6. Klimov, Yu.M., Samoilov, E.A., Zezin, N.L., Efanov, V.V., Komkov, V.A., Melnikov, V.M., Mikhailov, Yu.B., Motorin, V.N., Pavlov, A.D., Samoylov, D.E., Syromyatnikov, V.S., Timofeev, I.A. and Churkina, T.Yu. (1996). *Detali mekhanizmov aviatsionnoy i kosmicheskoy tekhniki* [Aircraft and spaceships parts of mechanisms]. Moscow: MAI, 344 p. (in Russian)
7. Basov, K.A. (2008). *CATIA V5. Geometricheskoye modelirovaniye* [Geometric modeling]. Moscow: DMK Press, St. Petersburg: Piter, 269 p. (in Russian)
8. Moir, I. and Seabridge, A. (2008). *Aircraft systems. Mechanical, electrical, and avionics subsystems integration*. Chichester: John Wiley & Sons, 536 p.
9. Walkenbach, J. (2012). *Excel 2010 Power Programming with VBA*. Indianapolis: John Wiley & Sons, 920 c.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Alexey S. Solov'ev, Postgraduate Student of the Aircraft and Aircraft Engines Maintenance Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, soloviev-avia@yandex.ru.

Поступила в редакцию 21.05.2018
Принята в печать 17.01.2019

Received 21.05.2018
Accepted for publication 17.01.2019