СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

УДК 62-754(045)

А. К. Аблесимов, канд. техн. наук, проф.,
Е. В. Сарапина

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДИСТАНЦИОННО ПИЛОТИРУЕМЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

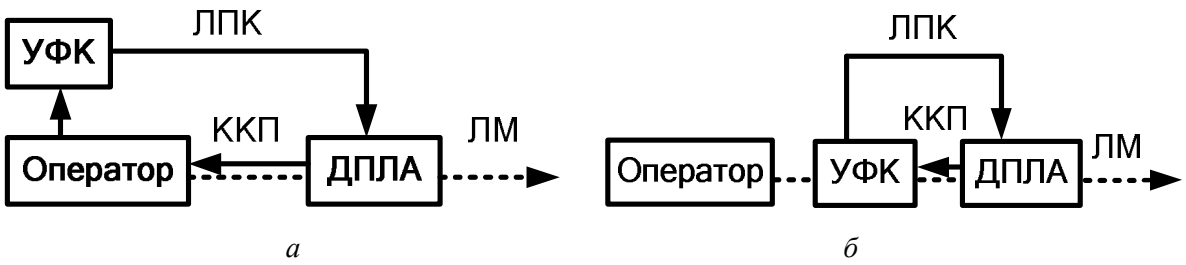
Институт аэрокосмических систем управления НАУ, e-mail: iesy@nau.edu.ua

Рассмотрены принципы построения и проведена сравнительная оценка систем управления дистанционно пилотируемых летательных аппаратов.

Ключевые слова: дистанционно пилотируемый летательный аппарат, система управления, оператор, устройство формирования команд, линия передачи команд, жесткость, демпфирование.

Введение и постановка задачи. Интерес, проявляемый в настоящее время к дистанционно пилотируемым летательным аппаратам (ДПЛА), вполне очевиден. Им отводятся различные области применения. При этом основной задачей разработчиков ДПЛА остается обеспечение качества управления объектом.

Управление ДПЛА осуществляет оператор с помощью специальных устройств автоматики (рис. 1).



а *б*

Рис. 1. Системы управления ДПЛА: *а* – ручная; *б* – полуавтоматическая

Основным функциональным элементом систем управления является устройство формирования команд (УФК). В качестве линии передачи команд (ЛПК) могут применяться проводные линии связи, радиосвязь, направленное лазерное излучение. Пространственное направление линии маршрута (ЛМ) ДПЛА задается оператором. Канал контроля положения (ККП) ДПЛА относительно ЛМ, как правило, оптический.

Системы управления, исходя из уровня их автоматизации, могут быть ручными или полуавтоматическими.

В ручной системе (рис. 1, *а*) оператор находится в контуре управления ДПЛА. Он оценивает положение ДПЛА на маршруте и через УФК формирует команды управления. Последние передаются по ЛПК на дистанционно пилотируемый летательный аппарат, обеспечивая его полет по заданной траектории.

В полуавтоматических системах (рис. 1, *б*) оператор исключен из контура управления. Его главной задачей является формирование направления ЛМ. Управление ДПЛА происходит автоматически. Устройство формирования команд контролирует положение ДПЛА на маршруте и формирует команды управления.

Тот или иной тип систем управления используется исходя из функций, выполняемых на ДПЛА. Исследование основных показателей качества систем управления позволяет провести их сравнительную оценку и выработать рекомендации, направленные на эффективное применение ДПЛА.

Решение задачи. Структурные схемы полуавтоматических систем управления показаны на рис. 2. Дистационно пилотируемый летательный аппарат как объект управления описывается передаточной функцией $W_0(s)=\dfrac{k_0}{T_0 s+1}$. Входным сигналом системы служит угол $\psi_з$ линии маршрута (угол курса), задаваемый оператором, выходным – угол $\psi_о$ курса ДПЛА. В общем случае на объект управления действует возмущающий момент $M_{y\Sigma}$.

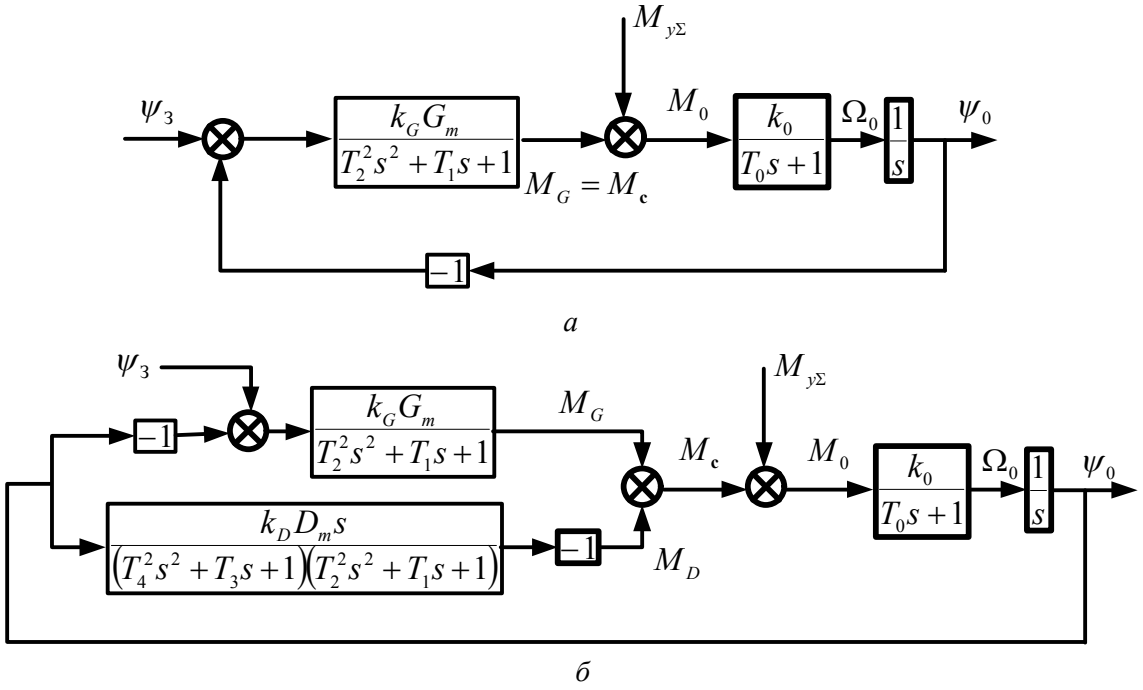


Рис. 2. Структурные схемы полуавтоматических систем управления:
а – одноконтурная; *б* – двухконтурная

Анализ вариантного исполнения систем управления показывает, что они являются позиционными системами автоматического регулирования по углу рассогласования ДПЛА относительно заданного оператором направления. При этом момент $M_с$ стабилизации ДПЛА может формироваться как по одному, так и по двум каналам.

При одноконтурном исполнении систем (рис. 2, *а*) момент стабилизации формируется по каналу датчика углового отклонения объекта управления

$$\overline{M}_с = \overline{M}_G \equiv k_G G_m,$$

где G_m – конструктивная жесткость системы управления, зависящая от постоянных передаточных коэффициентов входящих в нее элементов; $0 \le k_G \le 1$ – коэффициент регулировки жесткости.

При двухконтурном варианте формирование момента стабилизации обеспечивают каналы датчика углового отклонения и датчика скорости углового отклонения объекта управления.

$$\overline{M}_с = \overline{M}_G + \overline{M}_D \equiv k_G G_m + k_D D_m,$$

где D_m – конструктивное демпфирование системы управления; $0 \le k_D \le 1$ – коэффициент регулировки демпфирования.

Структурная схема системы с разделенными каналами формирования моментов приведена на рис. 2, *б*.

Область устойчивости системы управления [1; 2] в параметрах $k_D D_m$ – $k_G G_m$ имеет вид, показанный на рис. 3. Она ограничивает возможные значения жесткости и демпфирования системы.

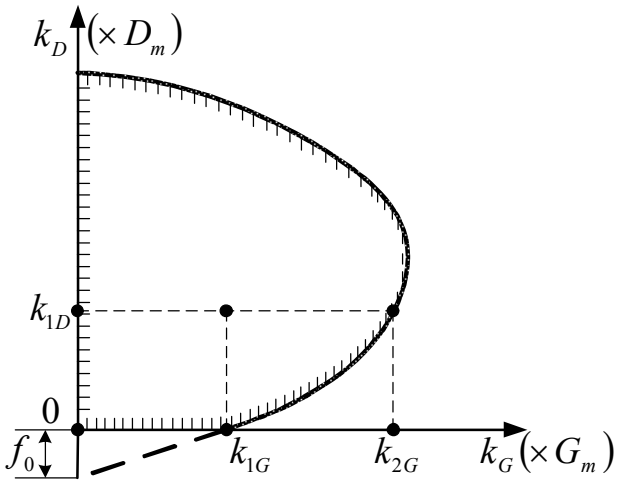
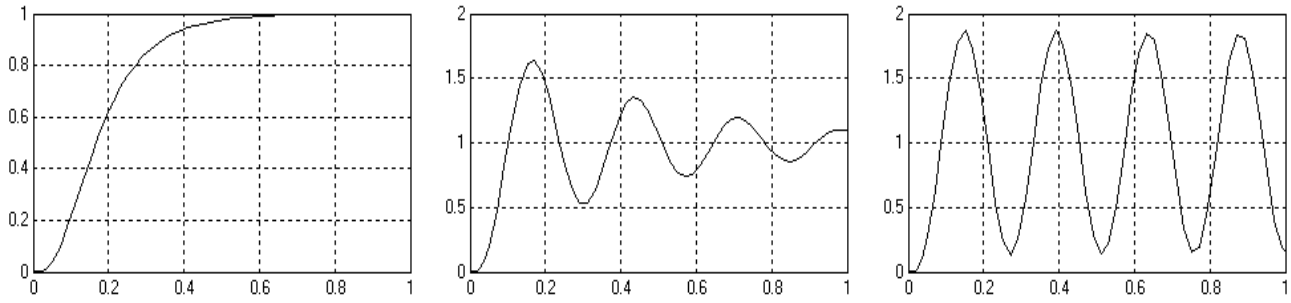


Рис. 3. Область устойчивости систем управления

Так как в одноконтурных системах $k_D D_m = 0$, то они устойчивы лишь при небольших значениях жесткости $(0 - k_{1G} G_m)$, соответствующих демпфированию ДПЛА трением f_0. При этом одноконтурные системы вполне могут обеспечить требуемое качество управления. Динамика изменения переходных характеристик одноконтурной системы при увеличении значений жесткости $k_G G_m = 0{,}01 G_m;\ 0{,}05 G_m;\ 0{,}068 G_m$ показана на рис. 4.



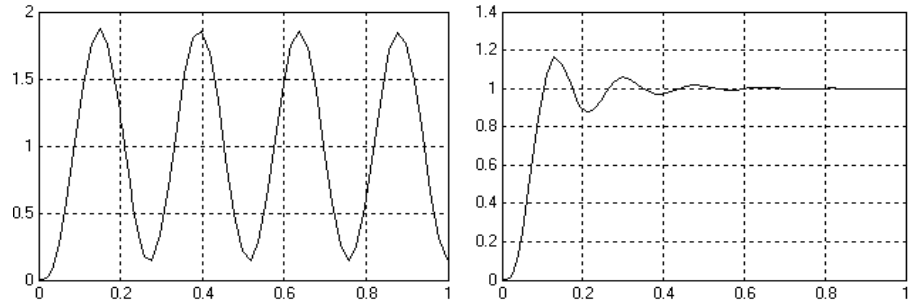
а *б* *в*

Рис. 4. Переходные характеристики одноконтурной системы управления:

$а - k_G G_m = 0{,}01 G_m$; $б - k_G G_m = 0{,}05 G_m$; $в - k_G G_m = 0{,}068 G_m$

Наличие датчика скорости углового отклонения объекта управления в двухканальной системе расширяет область ее устойчивости, позволяя отрегулировать систему на большую жесткость и в результате – обеспечить более высокую точность стабилизации ДПЛА. Из рис. 4 видно, что при демпфировании, равном $k_{1D} D_m$, предельная жесткость двухконтурной системы по сравнению с одноконтурной может быть увеличена с $k_{1G} G_m$ до $k_{2G} G_m$.

Рис. 5 иллюстрирует изменение переходного процесса при введении в состав системы управления контура датчика скорости – система, находящаяся на границе устойчивости при $k_D D_m = 0$ и $k_G G_m = 0{,}068 G_m$, становится работоспособной если обеспечено демпфирование $k_D D_m = 0{,}06 D_m$ и прежняя жесткость $k_G G_m = 0{,}068 G_m$.



а *б*

Рис. 5. Переходные характеристики одноконтурной (*а*) и двухконтурной (*б*) систем:
$а - k_D D_m = 0$, $k_G G_m = 0{,}068 G_m$; $б - k_D D_m = 0{,}06 D_m$, $k_G G_m = 0{,}068 G_m$

Структурная схема ручной системы управления приведена на рис. 6. Оператор в контуре управления ДПЛА представлен согласно [3] передаточной функцией

$$W_{\text{оп}}(s) = \frac{e^{-\tau s}}{(T_{\text{оп}} s + 1)^2}.$$

Сенсомоторика оператора определяет его постоянную времени $T_{\text{оп}}$ и задержку τ исполнительной реакции.

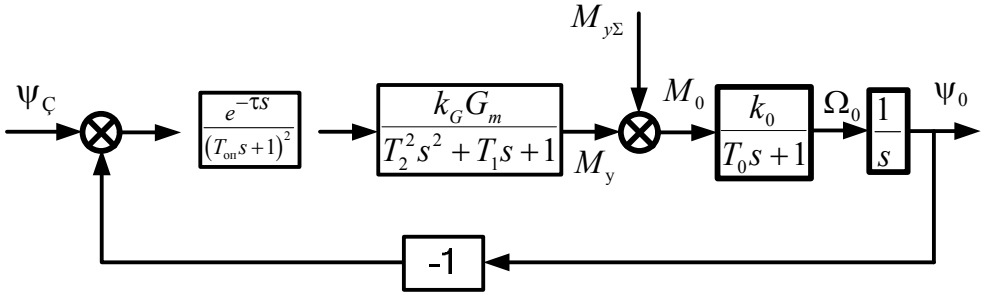
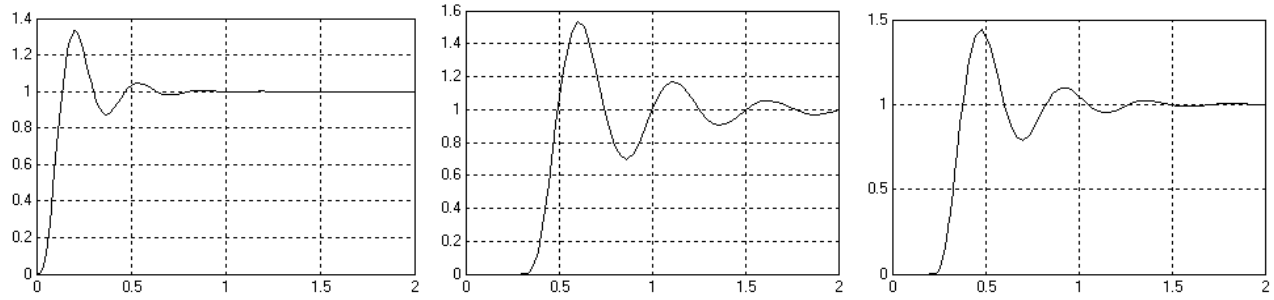


Рис. 6. Структурная схема ручной системы управления

Включение оператора в контур управления ДПЛА определенным образом влияет на динамику системы. Переходные характеристики одноконтурной полуавтоматической и ручной систем управления при равенстве их жесткостей $0{,}03 G_m$ и средних значениях параметров оператора приведены на рис. 7 *а*, *б*. Сравнение характеристик складывается явно не в пользу ручной системы управления. Основную причину следует искать в выбранных параметрах оператора.



а *б* *в*

Рис. 7. Переходные характеристики систем управления:
а – полуавтоматической одноконтурной; *б* – ручной и средних параметрах оператора;
в – ручной и параметрах оператора выше средних

Необходимо учитывать, что параметры разных операторов могут существенно отличаться друг от друга. Они могут изменяться у одного и того же оператора, исходя из объема выполняемой работы и ее напряжённости. Очень многое зависит от утомляемости конкретных индивидуумов, их способностей, тренированности.

С позиций теории автоматического управления человек является весьма пластичным динамическим звеном. В ходе обучения и тренировок он хорошо адаптируется как к системам управления ДПЛА, так и к условиям, в которых осуществляется управление. Главное заключается в том, чтобы полученные знания и навыки постоянно поддерживались на требуемом уровне и постоянно совершенствовались.

Переходная характеристика одноконтурной ручной системы управления при параметрах оператора выше средних показана на рис. 7, *в*. Нетрудно заметить, что динамика системы заметно улучшилась. При высоком уровне подготовки операторов качество ручных систем управления ДПЛА может быть максимально приближено к качеству полуавтоматических систем.

Выводы. Таким образом, исходя из задач, возлагаемых на ДПЛА:

– на практике могут быть реализованы полуавтоматическая и ручная системы управления;

–введение в состав системы управления канала регулирования по скорости отклонения объекта управления расширяет область ее устойчивости, позволяя тем самым обеспечить более высокую точность управления;

– при оценке качества систем управления ДПЛА, их соответствия требованиям технических условий необходимо учитывать не только совершенство конструкции систем, но и умения, и навыки оператора, уровень его подготовки и квалификации.

Список литературы

1. *Аблесімов О. К.* Автоматичне керування рухомими об’єктами й технологічними процесами / О. К. Аблесімов, Є. Є. Александров, І. Є. Александрова – Х.: НТУ «ХПІ», 2008. – 443 с.
2. *Аблесимов А. К.* Определение частотных характеристик САУ ЛА по известным границам области устойчивости. Авиа-2006: материалы VII междунар. науч.-техн. конф.– К.: НАУ, 2006. – Т.1. – С. 22.49–22.52.
3. *Цибулевский И. Е.* Человек как звено следящей системы / И. Е. Цибулевский – М.: Наука, 1981. – 288 с.

О. К. Аблесімов, К. В. Сарапіна

Системи керування дистанційно пілотованих літальних апаратів

Розглянуто принципи побудови та виконано порівняльну оцінку систем керування дистанційно пілотованого літального апарата.

A. K. Ablesimov, K. V. Sarapina

Control systems of unmanned aerial vehicles

The principles of construction and comparative evaluation of control systems of unmanned aerial vehicles is considered.