

УДК 533.695.14

DOI: <http://doi.org/10.20535/2219-3804212019183552>

Ф.В. Литвиненко<sup>1</sup>, бакалавр, Г. А. Вірченко<sup>2</sup>, професор, д.т.н.,  
Д. М. Зінченко<sup>3</sup>, доцент, к.т.н.

## БАЛАНСУВАННЯ ТРАНСПОРТНОГО БЕСПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ В ПРОЦЕСІ ДЕСАНТУВАННЯ ВАНТАЖУ

**En**

The study is devoted to determining the characteristics of stability and controllability of the UAV, depending on the position of the center of gravity, on the mode of engines operation and on the use of Gurnier shield. The parameters of changes of the momentum dependence on the lift coefficient at different positions of the center of gravity along two axes have been investigated.

The calculation model was investigated and calculated by means of Pansym software. Origin and Excel were used to plot the graphs. Factors such as the repositioning of the center of gravity on different axes, the operation of the engines themselves were taken into account, so a specific calculation model for the Pansym program was created for each calculation. Having the calculation model, the calculations of stability and balancing were performed using the software mentioned above.

The main result of the studies assumes that on the coordinates of the center of gravity ( $X = 0,889$ ) the indicator of the lift coefficient will be greater, so the UAV will be balanced better. The UAV with the Gurnier flap is more stable, so the lift coefficient relative to the momentum is relatively bigger. Due to the influence of engine performance, at large stages the ratio of rotational speed in the screw disk to the flow rate of the incoming flow is unstable. It can be assumed that the study and this technique can be used to evaluate the stability and balancing of UAVs in normal flight, as well as in the process of paradrop.

**Ru**

В статье проанализированы некоторые аспекты расчета аэродинамических характеристик летательного аппарата в момент десантирования с изменением положения центра тяжести самолета. Приведены графические зависимости изменения аэродинамических характеристик в зависимости от работы двигателей с изменением координат центра тяжести. Сделанные необходимые выводы.

### Вступ

На сьогоднішній день розвиток транспортних безпілотних літальних апаратів (БПЛА) є досить стрімким. БПЛА можуть використовуватися у широкому спектрі робіт, починаючи із аграрних і закінчуючи рятувальними операціями та десантуванням вантажу.

<sup>1</sup> КПІ ім. Ігоря Сікорського

<sup>2</sup> КПІ ім. Ігоря Сікорського

<sup>3</sup> КПІ ім. Ігоря Сікорського

У транспортній сфері БПЛА мають деякі переваги над пілотованими літаками у межах, коли необхідно доставити невеликий вантаж або провести рятувальну операцію. Наприклад, це стосується доставки ліків та необхідних препаратів у віддалені містечка через географічну особливість певної країни, оскільки доставляти препарат наземним транспортом є досить ризикованим варіантом. Зокрема, компанія «Zipline» використовує свої дрони для доставки таких препаратів у віддалені містечка, при цьому БПЛА також десантує вантаж. У країнах Європейського Союзу дрони доставляють дефібрилятори (Голандія, Канада). Деякі країни використовують БПЛА як кур'єрів щоб доставити товар (США, Австралія тощо). [1], [2], [3]. У цьому є свої переваги над надземним транспортом і пілотованими літаками, зокрема:

- запуск БПЛА можна провести у будь-який час доби і час підготовки на обслуговування значно менше ніж готувати пілотований ЛА;
- витрачений час та затрати на виготовлення БПЛА і підготовку операторів значно менші;
- для цього немає потреби мати злітну смугу, БПЛА може, не приземляючись, десантувати необхідний вантаж в задану точку.

БПЛА на сьогодні є одним із найперспективніших напрямків розвитку авіаційної промисловості. Здатність БПЛА здійснювати десантування вантажу у заданих координатах є надзвичайно привабливою властивістю літака як комерційного продукту. Проте реалізація ефективного транспортного БПЛА потребує проведення досліджень щодо впливу параметрів компонування літального апарата на аеродинамічні та льотно-технічні характеристики. Пошук ефективних конструкційних рішень визначають актуальність теми цієї статті.

*Проблеми:* при десантуванні вантажу положення центра мас значно змінюється, також змінюється балансування стійкості і керованість БПЛА.

### Постановка задачі

Метою та головною задачею даної статті є дослідження характеристик стійкості та керованості БПЛА у залежності від:

- положення центра мас;
- режиму роботи двигунів;
- застосування щитка Гурньє.

### Розрахункові моделі

Геометрична модель була спроектована у програмі КОМПАС, після чого була імпортована та розрахована у програмі *Pansym*. Дослідження впливу параметрів компонування виконувались у програмах *Pansym*, *Origin*, *Excel* [5].

Основна розрахункова модель спроектованого БПЛА зображена на рис. 1.

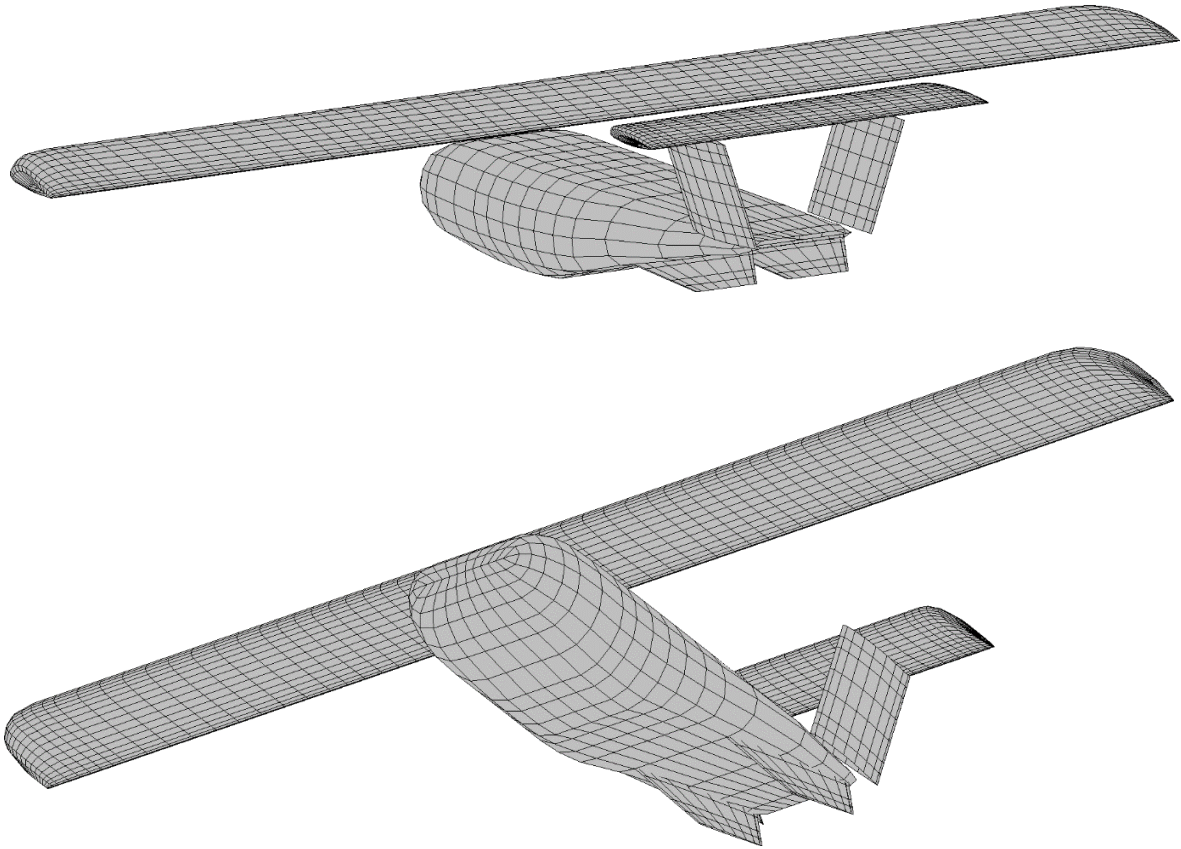


Рис. 1. Основна розрахункова модель досліджуваного БПЛА

Маючи дану розрахункову модель, за допомогою вказаного вище програмного забезпечення, проводились розрахунки та дослідження стійкості та балансування, такі як залежність моменту по осі  $Z$  ( $M_Z$ ) від коефіцієнта підйомної сили ( $C_Y$ ) за різних показниках центра мас. Дані координати змінюються із моменту десантування вантажу, бо із десантуванням змінюється центр ваги і сама маса БПЛА, тому врахування зміни цих координат та величини  $M_Z$  від  $C_Y$  є обов'язковим етапом розрахунків. Також досліджуються ці залежності для щитка Гурньє, беруться до уваги режими роботи двигунів, а саме, залежність моменту по осі  $Z$  ( $M_Z$ ) від коефіцієнта підйомної сили ( $C_Y$ ) на різних етапах відношень швидкості обертання у диску гвинта від швидкості потоку, що набігає ( $V_{JET}$ ) [4].

Усе це є досить впливовим і потребує ретельного дослідження, особливо коли необхідно оцінити яку стійкість БПЛА буде мати під час звичайного польоту та під час десантування вантажу. Зазначені результати подаються далі. Розрахункова модель із режимом роботи двигунів зображена на рис. 2.

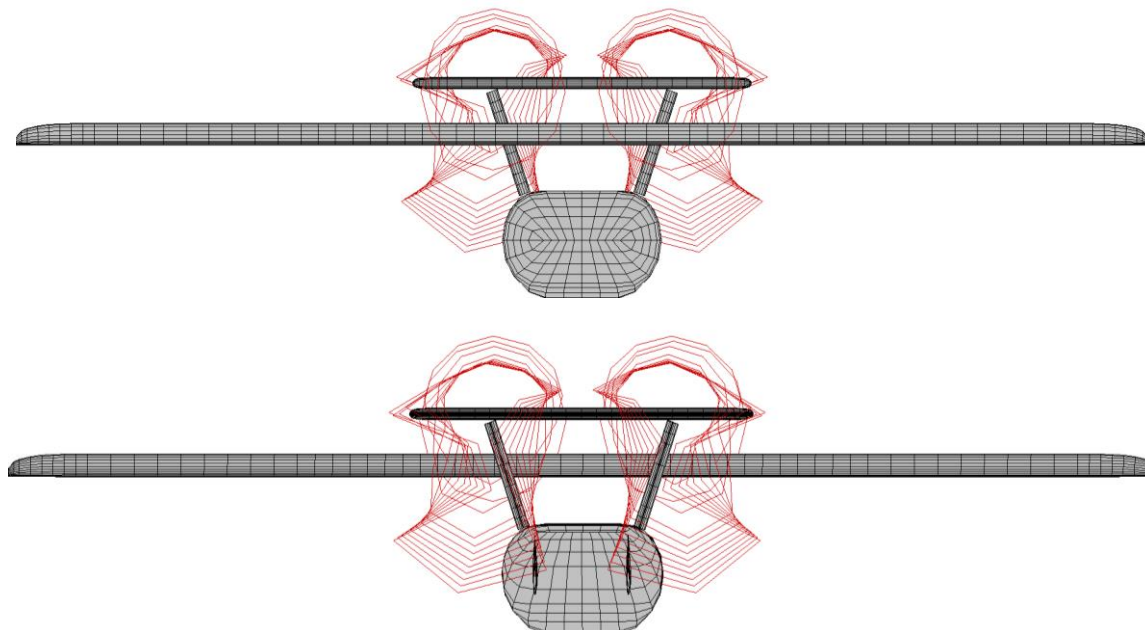


Рис. 2. Основна розрахункова модель досліджуваного БПЛА із режимом роботи двигунів

### Результати дослідження

Відповідно до попереднього викладеного матеріалу були проведені дослідження залежності моменту по осі  $Z$  ( $M_Z$ ) від коефіцієнта підйомної сили  $C_Y$ , а саме:

- залежність цих показників від різних координат центра ваги (рис. 3);
- залежність тих самих показників із щитком Гурньє (рис. 4);
- залежність цих показників від вплива роботи двигунів (рис. 5).

Криві балансування (рис. 3), для координати центра ваги ( $X=0,889$ ), доводять, що показник коефіцієнта підйомної сили буде більшим, тобто БПЛА буде краще збалансований.

Аналізуючи результати стійкості та балансування (рис. 4), бачимо, що показник коефіцієнта підйомної сили зі щитком Гурньє буде кращим, тому на початкових етапах БПЛА буде більш збалансованим.

Результати стійкості та балансування (рис. 5), приводять до висновків, що показники  $M_Z$  від  $C_Y$  у залежності від показника  $V_{\text{JET}}$  суттєво змінюються на різних режимах роботи двигунів. Чим більший показник  $V_{\text{JET}}$ , тим показники моменту та коефіцієнта підйомної сили змінюються більш нестабільно.

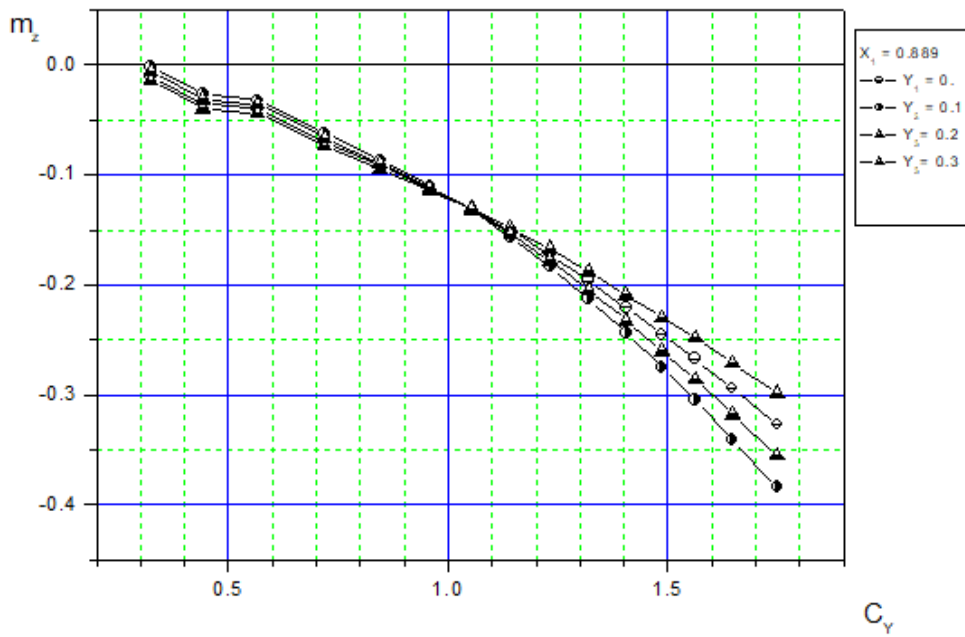
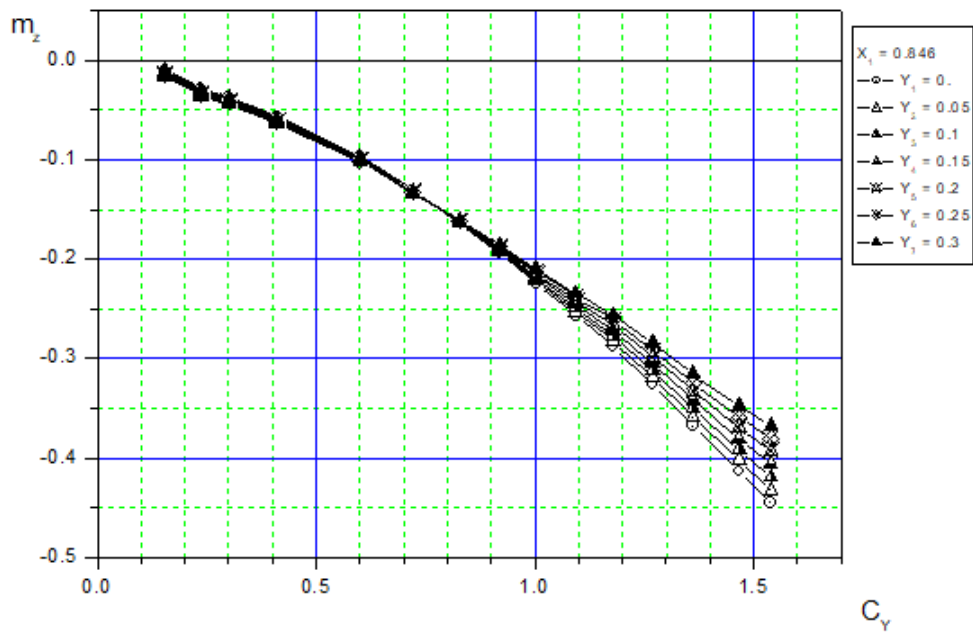


Рис. 3. Дослідження залежності моменту по осі  $Z$  ( $M_Z$ ) від коефіцієнта підйомної сили ( $C_Y$ )

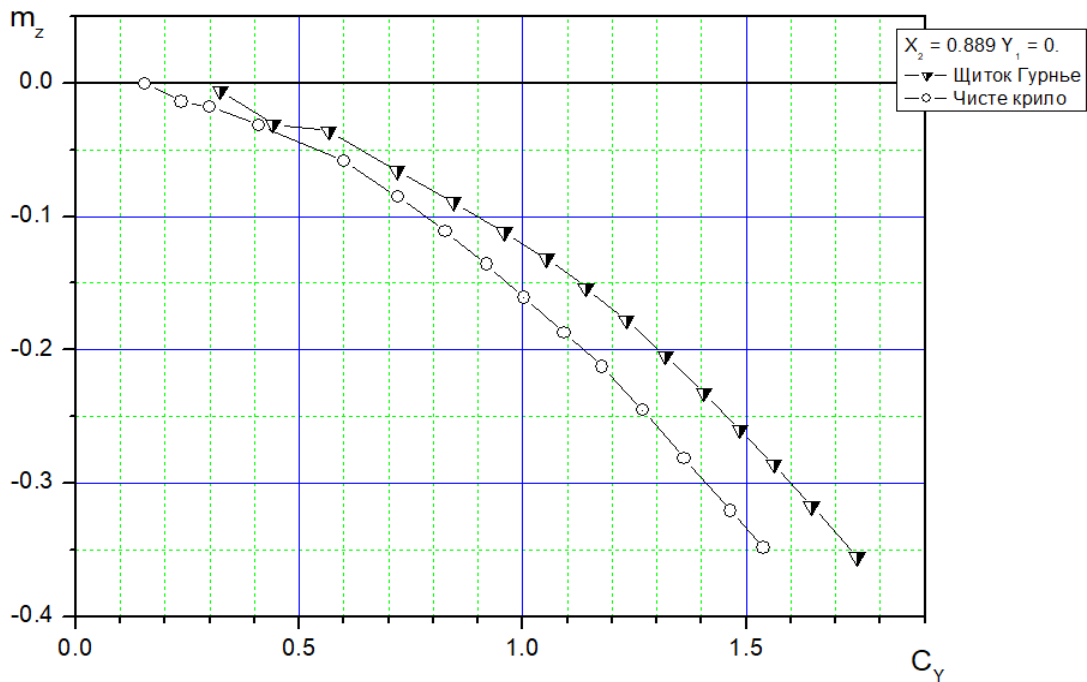


Рис. 4. Дослідження залежності моменту по осі  $Z$  ( $M_Z$ ) від коефіцієнта підйомної сили ( $C_Y$ ) зі щитком Гурньє. Порівняння

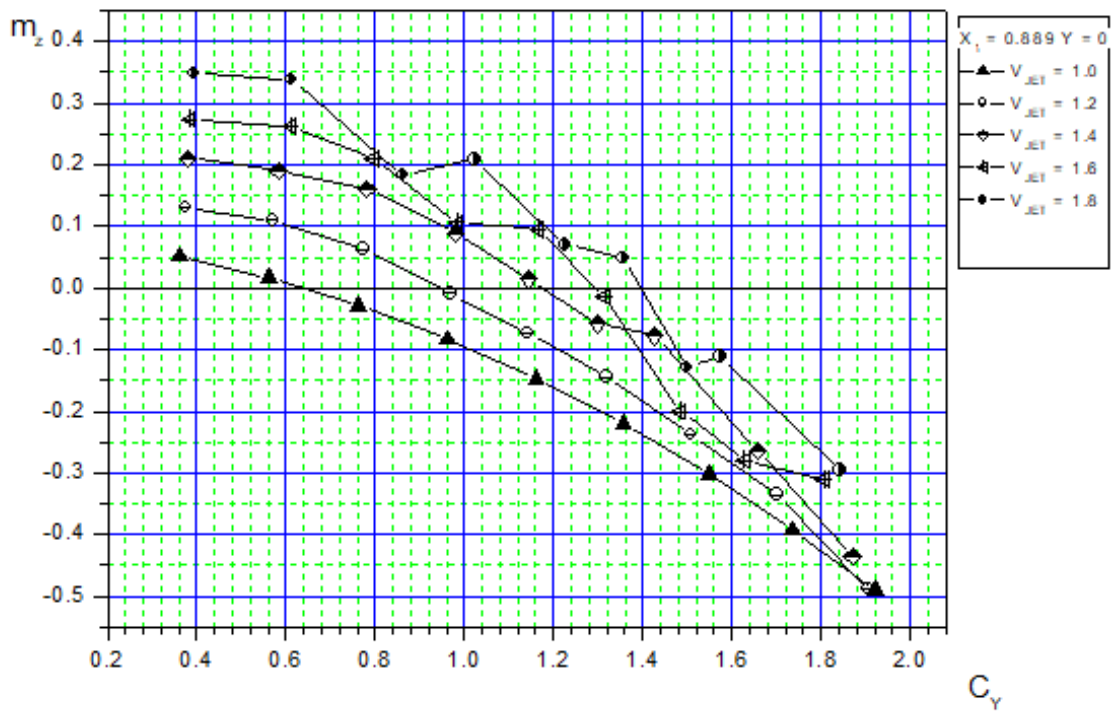


Рис. 5. Дослідження залежності моменту по осі  $M_Z$  від коефіцієнта  $C_Y$  за різних режимах роботи двигунів

Наведені залежності у вигляді графіків дають можливість проаналізувати моменти та визначити наскільки збалансований та стійкий є спроектований літак.

### **Висновки**

У ході виконання досліджень, за допомогою програмного забезпечення було опрацьовано балансування та стійкість БПЛА під час польоту та десантування вантажу.

Зі щитком Гурньє на початкових етапах польоту БПЛА є більш стійким, але це негативно впливає на подальші етапи польоту. У протилежному випадку на подальших етапах польоту (зі збільшенням швидкості) БПЛА, навпаки, буде більш стійким.

Стосовно впливу роботи двигунів було показано, що при більших відношеннях швидкості обертання диску гвинта до швидкості потоку, що набігає, досліджувані показники нестабільно змінюються;

Виконанні дослідження та подану методику можна застосовувати для оцінки стійкості та балансування БПЛА у звичайному польоті та при десантуванні вантажу.

### **Список використаної літератури**

1. 23537 Lifesaving Deliveries by Drones [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. / Zipline / – Електронні дані. – США: 2019. – Режим доступу: <https://www.flyzipline.com> – Назва з екрана. (11.02.2018).
2. Google's Wing launches drone delivery in Australia [Веб-сайт]. / CNN Business / – Електронні дані. – США: 2019. – Режим доступу: <https://edition.cnn.com> – Назва з екрана. (10.02.2018).
3. Drones deliver life-saving emergency defibrillators in Canada [Електронний ресурс] / Greg Nichols / : [Веб-сайт]. –Електронні дані. – США: 2019. Режим доступу: <https://www.zdnet.com> – Назва з екрана. (11.02.2018).
4. Глушков Н. Н. Эксплуатационная аэродинамика. Траекторные задачи / Н. Н. Глушков, Ю. Л. Инешин, Ю. Н. Свириденко. – Москва: Ученые записки ЦАГИ, 1989. – 18 с. – (ЦАГИ). – (XX; № 1).
5. Ударцев Е. П. Эксплуатационная аэродинамика. Траекторные задачи. / Е. П. Ударцев, М. А. Переверзев, С. А. Ищенко. – Київ: НАУ, 1998. – (НАУ).