

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ**

*Кременчуцький льотний коледж
Циклова комісія аеронавігації*

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

з навчальної дисципліни
ПРИНЦИПИ ПОЛЬОТУ
обов'язкових компонент

освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
Аеронавігація

за темою 1- Основні поняття і співвідношення аерогідрогазодинаміки.
Фізико-механічні властивості рідин і газів

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2023 № 7

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 28.08.2023 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії аеронавігації,
протокол від 28.08.2023 № 1

Розробник:

1. Викладач циклової комісії аеронавігації, спеціаліст 2-й категорії Ємець В.В.

Рецензенти:

1. Професор навчального відділу КЛК ХНУВС, викладач циклової комісії аеронавігації, к. т. н., с. н. с., спеціаліст вищої категорії, викладач – методист, Тягній В. Г

2. Професор навчального відділу КЛК ХНУВС, викладач-методист циклової комісії енергозабезпечення та систем управління, к. т. н., професор, спеціаліст вищої категорії, Гаврилюк Ю. М.

ЛЕКЦІЯ 1.1: Аеродинаміка як наука і її складові частини

План лекції:

- 1 Вступ до дисципліни, основні вимоги до її вивчення.
Історія авіаційної науки, формування обліку ЛА.
- 2 Основні поняття і визначення аерогідрогазодинаміки,
її основні частини.
- 3 Вклад вітчизняних вчених в розвиток аерогідрогазодинаміки.

Рекомендована література:

Основна:

- 1 Котельніков Г. Н., Мамлюк О. В., Аеродинаміка літальних апаратів. Підручник. -К.: Вища школа, 2002. – 255 с.
- 2 Навчальний посібник «Аеродинаміка та динаміка польоту вертольота». Частина I, «Аеродинаміка вертольота» / А. Г. Зінченко, О. О. Бурсала, О. Л. Бурсала та ін.; за заг. ред. А. Г. Зінченка. – Х.: ХНУПС, 2016. – 402 с.: іл.
- 3 Навчальний посібник «Аеродинаміка та динаміка польоту вертольота». Часть II, «Динаміка польоту вертольота». / А. Г. Зінченко, І. Б. Ковтонюк, В. М. Костенко та ін.; за заг. редакцією В. М. Костенка та І. Б. Ковтонюка. – Х.: ХУПС, 2010. – 272 с.: іл.
- 4 Опорний конспект з навчальної дисципліни «Аеродинаміка, динаміка польоту та практична аеродинаміка». Частина I «Аеродинаміка вертольоту». Автор: Пчельников С. І.
- 5 Опорний конспект з навчальної дисципліни «Аеродинаміка, динаміка польоту та практична аеродинаміка». Частина II «Динаміка польоту». Автор: Пчельников С.І.
- 6 Аеродинаміка літальних апаратів: навчальний посібник /О.О. Бурсала. А. Г. Зінченко, Є. Ю. Іленко, І. Б. Ковтонюк, А. Л. Сушко – Х.: ХУПС, 2015. - 333 с.: іл.
- 7 Лебідь В. Г., Миргород Ю. І., Аерогідрогазодинаміка. Підручник Х.: ХУПС, 2006. – 350 с.
- 8 Тягний В.Г., Ємець В.В. Основи аеродинаміки та динаміки польоту. Ч.1 Аерогідрогазодинаміка. Навч.посібник Х.: ХНУВС, 2023. – 280 с.

Додаткова:

- 1 Ковалев Е. Д., Удовенко В. А., Основи аеродинаміки і динаміка польоту легких вертольотів. Навчальний посібник. - Х.: КБ Аерокоптер, 2008. – 280 с.

- 2 Мхитарян А. М., Збірник задач по курсу “Аеромеханіка”. Навчальний посібник - К.: КПЦА, 1976. – 100 с.

Нормативна:

- 1 ДСТУ 22499 - 77. Апарати винтокрилі. Механіка польоту в атмосфері. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1981.
- 2 ДСТУ 23281 - 78. Аеродинаміка літальних апаратів. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1981.
- 3 ДСТУ 20058 - 80. Динаміка літальних апаратів в атмосфері. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1976.
- 4 ДСТУ 23199 - 80. Газодинаміка. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1978.
- 5 ДСТУ 221890 - 76. Фюзеляж, крила і оперіння літаків і вертольотів. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1976.

Інформаційні ресурси в Інтернеті
<http://csm.kiev.ua/nd/nd.php?b=1>

Технічні засоби

- 1 Багатофункціональний плазмовий телевізор.
- 2 Персональний комп'ютер.
- 3 Мультимедійний проектор.

Наочні посібники

- 1 Опорний конспект лекцій по дисципліні «Аерогідрогазодинаміка».
- 2 Електронний конспект лекцій по дисципліні.
- 3 Презентація окремих тем дисципліни.
- 4 Схеми та таблиці по темам дисципліни.
- 5 Зразки інформаційної та службової документації.
- 6 Навчальні фільми за тематикою дисципліни «Аерогідрогазодинаміка».
- 7 Стенди і плакати за тематикою дисципліни «Аерогідрогазодинаміка».
- 8 Начальний посібник по дисципліні “Аерогідрогазодинаміка”.

Текст лекції

ЛЕКЦІЯ 1.1: АЕРОДИНАМІКА ЯК НАУКА І ЇЇ СКЛАДОВІ ЧАСТИНИ

План лекції:

- 1.1.1** *Введення в дисципліну, основні вимоги до її вивчення.
Історія авіаційної науки, формування вигляду ЛА.*
- 1.1.2** *Основні поняття і визначення аерогідрогазодинаміки, її
складові частини.*
- 1.1.3** *Внесок вітчизняних вчених в розвиток аерогідрогазодинаміки,
як науки.*

1.1.1 Введення в дисципліну, основні вимоги до її вивчення.

Історія авіаційної науки, формування вигляду сучасних ЛА

Ще з давніх-давен людина мріяла піднятися в небо подібно до птаха. У багатьох казках, міфах, переказах і легендах постійно простежувалося бажання людини піднятися в повітря вище дахів будинків, дерев, гір, а саме: політ легендарного Ікара до сонця, казка про килими «*старець – ХОТАБИЧ*» - літаки, польоти «*Баби-яги*» на ступі – «*Реактивні ЛА*» і т.п. Здійснювалися спроби практичних польотів з різними пристосуваннями з колоколень церков, з обривів гір або берегів річок, з високих дерев, з мостів і ін.

Ідея літальних апаратів виходила з безпосередніх спостережень людини за польотами птахів, тварин і комах, що літають. Однак мрія довго не могла втілитися в якусь реальну схему літального апарату, здатного літати. Таким чином, створення літака сприяло бажання людини скопіювати форму птахів і манери їх польоту. А ось ідея несучого гвинта є результатом творчого осяяння людини по створенню літального апарату не має аналога в живій природі.

Конструкторами-самоучками робилися спроби створення аеропланів здатних відірватися від землі і успішно літати з людиною на борту. Вони часто копіювали природних літунів - птахів, а саме: їх форму і рухи в польоті. Тому схеми аеропланів протягом тривалого часу, аж до початку ХХ століття, в основному втілювалися в птахоподібні форми.

Історично у виборі форм аеропланів спостерігалися дві основні тенденції формування вигляду аероплана:

- раціональна;
- емоційна.

За раціональною формою створювалися проекти аеропланів відомими конструкторами - аматорами світу:

- **Хенсон** (Англія, 1843р.) - апарат з прямокутним крилом і птицеподібним хвостовим оперенням;
- **Телешов** (Росія, 1876-1884г.) - апарат у вигляді літаючого крила зворотної стріловидності;
- **Можайський** (Росія, 1881р.) - апарат з прямокутним крилом в плані;
- **Філіпс** (Англія, 1893р.) - апарат з ріштковим крилом;
- **Максим** (США, 1893р.) - апарат з шістьма крилами;
- **Ленглі** (США, 1896р.) - апарат з двома крилами, які знаходяться в одній площині;
- **Шанюта** (США, 1896р.) - апарат у вигляді біплана-етажерки.

За загальним виглядом та характером форми дані апарати відносилися до чисто технічного, раціонального напрямку розвитку ЛА.

Емоційна тенденція характеризувалася примхливими формами, обрисами плавно вигнутими, часом химерними лініями, формами, що нагадують вигляд природних літунів: птахів, кажанів, великих комах.

За емоційною тенденцією будувалися літальні апарати різними конструкторами любителями:

- **Леонардо Да Вінчі** (Італія, 1505г.) - апарат у формі летучої миші;
- **Бреа** (Франція, 1854 р.) - апарат у формі метелика;
- **Ле-Брі** (Франція, 1857-1887г.) - апарат у формі голуба;
- **Труве** (Франція, 1891 р.) - апарат у формі літаючого змія;
- **Лілієнталь** (Німеччина, 1896р.) - апарат з об'ємним дельтавидним крилом;
- **Адлер** (Франція, 1897 р.) - апарат у формі летючої миші з об'ємним крилом.

На початку ХХ століття почали будувати аероплани, які здатні були не лише на короткий час відриватися від землі, а й могли здійснювати нетривалі, керовані людиною, польоти.

Перший аероплан братів Райт (США, 1900-1903г.). Мав чіткі геометричні форми і був побудований за раціональною формою. Перший політ аероплана братів Райт був виконаний 6 грудня 1903 р.

В США стійко сформувалася тенденція до створення літаків з прямокутними або близькими до них формами несучих поверхонь. Відомими конструкторами аеропланів раціональної форми того часу були: Джунг-Баг (1908р.), Херинг (1908р.), Кертис (1909р.), Коді (1909р.), Фербер (1902р.), Сантос-Дюмон (1906р.), Вуазен (1907р.), Фарман (1907р.).

Однако продовжували створюватися аероплани з химерними рисами і вигнутими крилами, в основному французькими конструкторами:

- **Вюйя** - моноплан, крило подібне до кажана;
- **Елехаммер** (Данія) - триплан з дельтоподібними крилами;
- **Базен** - аероплан в формі голуба;
- **Муассан** - моноплан з багатосекційним крилом;
- **Ольга** - моноплан з крилом в формі чайки;
- **Ленюк і Монтре** - моноплан з крилом в формі чайки;
- **Мінге** - аероплан в формі літаючого крила;
- **Оуерц** - аероплан у формі літаючої етажерки.

Копіювання форм природних літунів припинилося лише в 1912 р. Перша світова війна вимагала масового виробництва літаків, яке стало можливим лише при впровадженні простих раціональних технологічних форм літальних апаратів. До таких аеропланів відносилися апарати конструкторів: Блеріо, Антуанетт, Бреге, Ено - Пельтрі, Фарман та ін.

З історичного огляду створення і вдосконалення літальних апаратів слідує, що в Європейських країнах в процесі вироблення схеми і конструкції аеропланів поряд з апаратами раціональної форми створювалися і апарати, вигляд яких явився результатом некритичного запозичення природних форм.

Вивчаючи історію авіабудування можна відзначити своєрідну спільність технічного мислення та інженерної раціональної концепції американських, англійських і російських авіаконструкторів.

Англія створювала аероплани під впливом традиційного «здорового глузду», тому апарати формувалися як чисто технічна споруда.

США було молодого індустріально-розвинутою країною, якої не торкнулася похмура епоха середньовіччя (інквізиція). Тому з самого початку створення аеропланів в США утвердилася раціональна форма з технологічно - досконалими рішеннями і лінійними формами.

У Росії внаслідок відсталості виробничих сил, формування образу літальних апаратів здійснювалося під впливом Західної Європи в основному Англії. Відомі російські конструктори: Телешов, Можайський, Сікорський дотримувалися яскраво вираженої раціональної тенденції: чітка силова схема несучих поверхонь прямокутної або близькою до них форми в плані з тягнучим гвинтом і розташованими нозаді хвостовим оперенням (Літаки Сікорського - «Грант», «Російський витязь» та «Ілля Муромець").

1.1.2 Основні поняття аерогідрогазодинаміки, її складові частини

Основою аеродинаміки є гідроаеромеханіка, яка як наука вивчає:

- закони руху і рівноваги рідин і газів;

- взаємодія рідин і газів з обтікаємими твердими тілами.

Механіка рідкого середовища називається *гідромеханікою*, а механіка газоподібного середовища - *аеромеханікою*.

При малих швидкостях течії (*набагато менше швидкості поширення звукових хвиль в середовищі $M < 0,3$*) закони гідромеханіки і аеромеханіки практично однакові. При великих навколосвукових і надзвукових швидкостях течії виявляються властивості стисливості газів.

Гідромеханіка умовно розділяється на три складові частини:

- *гідростатику* - як науку що вивчає закони рівноваги рідини і твердих тіл, повністю або частково занурених у нерухому рідину;
- *кінематику* рідини - науку що вивчає закони руху рідини, як суцільне рухоме середовища незалежно від дії на неї будь-яких зовнішніх сил;
- *гідродинаміку* - як науку що вивчає рух рідини з урахуванням зовнішніх сил, що діють на неї, а також силову взаємодію між рідиною і твердими тілами при їх відносному переміщенні (*це давня наука, яка виникла при спорудженні каналів і зрошувальних систем в Єгипті, а також при будівництві кораблів*).

Аеромеханіка, аналогічно гідромеханіці, так само умовно розділяється на три складові частини:

- аеростатику;
- кінематику газу;
- аеродинаміку.

У кожній з цих частин, стосовно газу, вивчаються ті ж питання, що і в відповідних частинах гідромеханіки. Однак, крім загальних законів, існують і закони властиві або лише газу або тільки рідини.

Гідроаеромеханіка базується на ряді наук та в першу чергу на теоретичних положеннях механіки.

Аеродинаміка (*Aer* - повітря, *dynamic* - сила) - це наука, яка вивчає:

- закони руху газу;
- сили взаємодії газового потоку з обтікаємими твердими тілами.

Аеродинаміка розвивалася паралельно з розвитком *ЛА*, так як створення їх вимагало вивчення питань взаємодії газу з рухаючими в ньому твердими тілами.

Таким чином, аеродинаміка як наука вивчає:

- умови виникнення аеродинамічних сил, які впливають на тверді тіла при їх русі відносно газового потоку;
- фактори, які впливають на величину і напрямок аеродинамічних сил;
- величину і напрямок дії аеродинамічних сил;

- особливості руху газового потоку і зміна його параметрів навколо обтікаємих тіл.

Історія розвитку аеродинаміки налічує понад *100 років*. Як наука, вона зародилася в *19 столітті* минулого тисячоліття. За ці роки аеродинаміка збагатилася багатьма знаннями. Тому сучасна аеродинаміка це вже комплексна наука, яка умовно поділяється на ряд самостійних наукових напрямків:

- гідроаеродинаміку;
- газову динаміку;
- гіпераеродинаміку;
- магнітодинаміку;
- супераеродинаміку.

1) Гідроаеродинаміка - це наука, яка вивчає закони руху рідини і газів, а також сили взаємодії їх з обтікаємими твердими тілами.

Засновниками механіки рідини, звідки бере початок аеродинаміка, є члени Російської академії наук *XVIII століття*: Л. Ейлер і Д. Бернуллі.

Основи сучасної гідроаеродинаміки були закладені геніальними російськими вченими: М. Є. Жуковським, С. А. Чаплигіним і потім доповнені німецькими вченими Л. Прандтлем і Г. Шлихтингом (створення теорії про примежовий шар).

М. Є. Жуковський був теоретиком аеродинаміки як науки, він:

- першим вирішив задачу «про підйомну силу»;
- створив струнку вихрову теорію грибного гвинта;
- заклав основи аеродинамічного розрахунку літака;
- створив аеродинаміку, як самостійну науку.

2) Газова динаміка - це наука, яка вивчає закони руху газу при великих швидкостях, а також закони взаємодії між повітряним середовищем і твердим тілом, яке рухається в ній з великою швидкістю при високій температурі.

Основоположником газової динаміки є російський вчений С. А. Чаплигін, який розробив теоретичні основи і методи дослідження руху газів з великими швидкостями і в області високих температур.

Досягнення в галузі газової динаміки широко використовуються при проектуванні і створенні ЛА, а також рухомих установок, призначених для польотів з великими швидкостями.

3) Гіпераеродинаміка - це наука про вивчення законів руху газів і сил взаємодії при обтіканні тіл зі швидкістю в **5 і більше разів** перевищує швидкість звуку.

4) Магнітодинаміка (електродинаміка) - це наука про вивчення законів взаємодії між іонізованим газом і тілом, яке рухається в ньому. При високих

температурах обтікання відбувається дисоціація й іонізація повітря і він стає електропровідним. При цьому крім газодинамічних сил при розрахунках необхідно враховувати і електромагнітні сили, які впливають на молекули газу.

5) Супераеродинаміка - це наука, яка вивчає закони обтікання тіл розрідженим газом (*на великих висотах і в космосі*).

З моменту зародження і до теперішнього часу аеродинаміка, як наука, розвивалася, існує і розвивається в 3-х взаємопов'язаність напрямках:

- **теоретичному**, при якому досліджуються математичні моделі, що моделюють обтікання твердих тіл потоком газу. Моделі створюються на базі фізичних експериментів або теоретичних гіпотез. Правильність математичного моделювання перевіряється експериментом.
- **експериментальному**, при якому розглядаються явища такими, якими вони існують в природі, моделюються різні варіанти обтікання газовим потоком твердих тіл за допомогою спеціальних експериментальних пристроїв в лабораторних умовах (*аеродинамічних трубах*).
- **прикладному**, при якому з'єднуються теоретичні і експериментальні дослідження в прикладну аеродинаміку для використання її в практичних цілях.

За результатами теоретичних і експериментальних досліджень явищ обтікання твердих тіл потоком рідини або газу уточнюються наукові гіпотези і будуються нові більш точні математичні моделі. Метою експериментальної і теоретичної аеродинаміки є вивчення фізичної сутності виникнення аеродинамічних сил і моментів, а також отримання їх розмірів і напрямки дії.

Використовуючи закони і результати досліджень аеродинаміки, можна вибрати раціональну компоновку *ЛА* і встановити допустимі відхилення зовнішньої форми і розмірів при його проектуванні і будівництві.

Аеродинаміка спільно з іншого наукою - динамікою польоту, є теоретичною основою створення авіаційної і ракетної техніки.

Динаміка польоту- це наука, яка розглядає закони руху *ЛА* під дією на нього зовнішніх сил. Вона умовно поділяється на:

- динаміку матеріальної точки (ц. м. *ПС*);
- динаміку системи матеріальних точок (*ЛА* в цілому).

Динаміка матеріальної точки дозволяє вирішити два взаємопов'язані завдання:

- **пряме** - це коли за заданими зовнішнім силам і їх моментами, що діють на *ЛА*, визначаються траєкторія польоту і закон руху *ЛА*;
- **не пряме** - це коли по заданій траєкторії і законі руху визначаються потрібні аеродинамічні сили і моменти, що виникають на *ЛА*.

Таким чином, динаміка польоту дає теоретичне підґрунтя для розробки техніки пілотування ЛА.

Практична аеродинаміка ЛА - це прикладна частина аеродинаміки і динаміки польоту. Вона розглядає явища і процеси, що протікають на всіх етапах польоту, знання яких необхідні пілоту для свідомого освоєння техніки пілотування конкретного **ЛА**, оволодінням його безаварійної експлуатації.

Основоположником сучасної вітчизняної аеродинаміки і динаміки польоту вважається російський учений Микола Єгорович Жуковський (1847-1921), «батько російської авіації». Великий внесок у розвиток аеродинаміки і динаміки польоту вертольотів внесли учні Жуковського: академік Б. Ю. Юр'єв і учений-конструктор І. П. Братухін.

1.1.3 Внесок вітчизняних вчених в розвиток аерогідрогазодинаміки

У дореволюційній Росії, де відстала політична система затримала зростання прогресивних продуктивних сил, формування конструкційної схеми сучасного аероплана, що почалося з талановитого інженера Можайського, лише в 1909-1910 р. р. вступило в період бурхливого розвитку.

У дореволюційній Росії сформувалися 3-и основних творчих авіаційних центрів це: Москва, Петербург, Україна.

На початку ХХ-го століття Україна стала провідним авіаційним центром Росії. У 1908 році на в м. Київ, базі КПП було створено повітряний гурток, який очолили учні М. Є. Жуковського: М. А. Артем'єв, М. Б. Делоне, В. Ф. Бобров. У Києві в 1910 році професор Кудашев і студент Сікорський побудували ЛА у вигляді біплана, який був виконаний по схемі раціональної концепції. Такі ж аероплани були побудовані і іншими конструкторами: Шабським, Гризодубовим, Карпеки, Касьяненко, Геккелем і іншими. У період з 1909 по 1914 р.р. російськими конструкторами було побудовано понад 30 типів ЛА різних компоновок і схем. Велика заслуга в розвитку динаміки польоту належить російським вченим В. П. Ветчинкіну і В. С. Пишнову.

Найвидатнішим вихованцем київської школи був І. І. Сікорський, який в 1913 - 1914 р.р. побудував в Петербурзі найбільші для того часу літаки: "Грант", «Російський витязь та «Ілля Муромець».

Вивчаючи історію авіабудування світу можна відзначити своєрідну спільність технічного мислення та інженерної концепції американських, англійських і російських конструкторів.

Дотримуючись вітчизняним авіаційним традиціям в 1952 році в Києві розпочало роботу конструкторське бюро Антонова, яке спеціалізувалося на розробці транспортних літаків від Ан-2 до Ан-225.

Сама ідея створення вертольота або вірніше несучого гвинта набагато старіше ідеї створення літака, але природа вказала інші шляхи для побудови ЛА важчих за повітря. У навколишньому середовищі людини обертання проявляється лише випадково, епізодично, наприклад, у вигляді обертання в повітрі падаючого кленового насіння. Довгий час людині не приходило в голову використовувати обертові поверхні для польоту в повітрі.

Практичним застосуванням цього принципу літання обертових тіл можна назвати політ бумеранга. Однак бумеранг австралійців був недоступним європейцям, а ось вітряки, при Дон Кіхоті, могли підказати допитливому розуму використання обертового гвинта в якості оригінальної конструкції несучої поверхні.

Необхідно було творче натхнення, щоб прийти до ідеї НГ і гвинтокрилого апарату. Вперше цю ідею висловив великий італійський художник і вчений Леонардо да Вінчі в 1475 р. Основною частиною його апарату був великий гвинт Архімеда, зроблений з парусини, натягнутої на дротяний каркас. Гвинт пропонувалося приводити в обертання за допомогою м'язової сили людини.

В середині XVIII століття (1754 р.) незалежно від знаменитого італійця, великий російський вчений М. В. Ломоносов не тільки розробив схему, але і побудував модель вертольоту соосної схеми, що призначалася для підйому на необхідну висоту метеорологічних приладів. Модель мала два НГ, що обертаються в різні боки, що приводяться в обертання пружиною від годинника.

В середині XIX століття було виготовлено велику кількість демонстраційних і літаючих моделей вертольотів конструкторами аматорами: Косс (1845) і д'Амекура (1863) у Франції, Лодигінім А. Н. (1869), який розробив проект вертольота з електродвигуном, Коновалов В. П., Чернов Д. П., Неждановский С. С. розробили цікаві проекти вертольотів.

Питання, безпосередньо пов'язані з аеродинамікою вертольота розглядалися в роботах «Про корисний вантаж, який підіймається гелікоптером» (1904), «Досвід теоретичного визначення ефекту вітру, що дує в площині гелікоптерного гвинта» (1909).

Переважна більшість пропонованих конструкцій вертольотів не змогли піднятися в повітря через недостатню потужність силової установки або неправильного розрахунку тяги НГ.

У 1907 р французи Бреге і Ріше побудували чотирьохгвинтовий вертолiт, який вперше зміг відірватися від землі і виконати висіння на висоті кількох метрів.

При спробах переходу до горизонтального польоту вертольоти терпіли аварію, тому що неясна була природа зміни аеродинамічних сил і моментів, які

не були на той час вирішені і не було вирішено питання управління вертольотом і їх стійкості.

Ці проблеми знайшли своє наукове і практичне вирішення в роботах Б. М. Юр'єва. У 1910 році під керівництвом М. Є. Жуковського він розробив імпульсну теорію НГ, що забезпечує розрахунок його характеристик. Юр'єв займався будівництвом літаючих моделей вертольотів різних схем, аналізував їх переваги та недоліки. У 1910-1911 р. р. Юр'єв розробив і запатентував схему вертольоту з одним НГ, а також винайшов автомат перекошу для управління вертольотом в поздовжньому і поперечному напрямках. У 1912 р за проектом Б. М. Юр'єва був побудований перший в світі вертоліт одnogвинтової схеми.

У 1920-1930 р. р. у Франції, Іспанії та США були побудовані вертольоти різних схем, які могли літати на висоті кількох метрів протягом декількох хвилин.

Першим вітчизняним вертольотом був вертоліт ЦАГІ 1-ЕА, який здійснив перший політ в 1930 р, пілотував його конструктор Олексій Михайлович Черьомухін.

У 1940 році під керівництвом І. П. Братухіна були створені перші радянські вертольоти поперечної схеми: Омега-І, Омега-ІІ, Б-3, Б-5 та ін. Розробкою вертольотів займався і КБ Яковлева: вертольоти Як-100, Як -24.

У ЦАГІ з робіт над автожирами починали свій конструкторський шлях прославлені конструктори - вчені Н. І. Камов і М. Л. Міль. Діяльність очолюваних ними колективів забезпечила створення декількох поколінь першокласних вітчизняних вертольотів соосної схеми: Ка-8, Ка-10, Ка-18, Ка-26, Ка-22, Ка-25, Ка-27, Ка-29, Ка-32, Ка-50, Ка-52, Ка-60 - КБ Камова, і одnogвинтової схеми з рульовим гвинтом Мі-1, Мі-4, Мі-2, Мі-8, Мі-6, Мі-10, Мі-12, Мі -26, Мі-24, Мі-28, Мі-35, - КБ Міля.

За кордоном після другої світової війни почався бурхливий розвиток вертольотобудування. Особливо великі успіхи були досягнуті в США, піонером вертольотобудування став І. І. Сікорський, який займався вертольотами одnogвинтової схеми з одним рульовим гвинтом. У 1942 р були побудовані перші вертольоти Сікорського ***VS-300 і R-4***. У наступні роки і в даний час фірма Сікорського продовжує займати провідне місце в світовому вертольотобудуванні.

В даний час майже в кожній високорозвиненій країні світу виробляються вертольоти власних конструкцій і які успішно конкурують на світових ринках. У РФ Казанським КБ розроблено і серійно випускаються сучасні перспективні вертольоти одnogвинтової схеми - ***Ансат і Кансай***.

В Україні на початку 90-х років в Полтаві було створено ОКБ «Аерокоптер», яке почало виробництво вітчизняних надлегких вертольотів

AK1-3, але через часті відмови і поломки вертольотів виробництво їх було в 2014 році було тимчасово призупинено.