

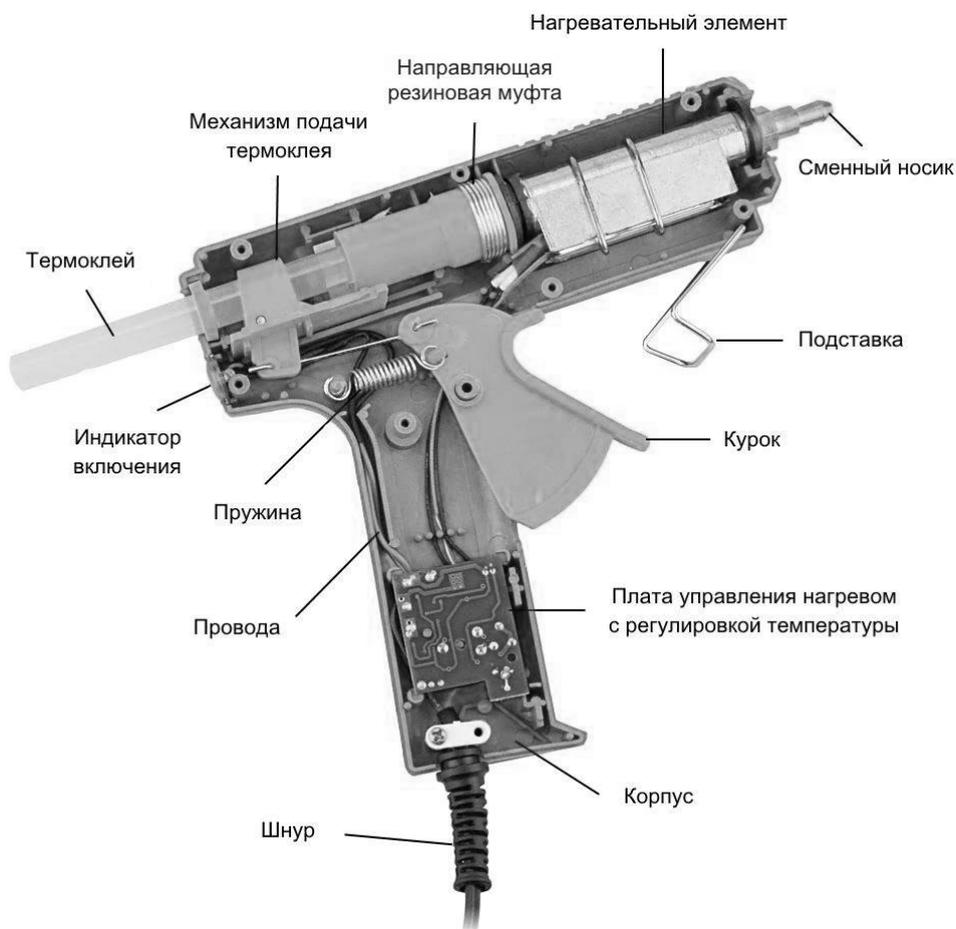
### Задача 1. Изгибающие стрелки

Эпюры нагрузок предназначены для графического представления сил и моментов, приложенных к некоторому телу. Стрелки показывают величину (пропорционально длине стрелки) и направление сил, приложенных к малым участкам тела, а также место их приложения. Если силы не имеют общей точки приложения и распределены в пространстве (например, силы давления или силы тяжести), то на эпюре их изображают совокупностью стрелок. Стрелки не могут быть нанесены для каждой точки тела, их чертят лишь для некоторых точек, расположенных достаточно часто, чтобы это позволяло с хорошей точностью рассчитать величину и направление сил в промежуточных точках. При этом расстояние между этими точками должно быть достаточно велико для того, чтобы стрелки не накладывались друг на друга. Часто концы стрелок соединяют огибающей линией. Считается, что концы всех стрелок (даже не изображенных!) должны лежать на этой огибающей. Для того чтобы задать масштаб, указывают значение силы на единицу длины профиля тела  $q$  для какой-либо определенной стрелки. На рисунке изображены эпюры сил, действующих в полете на самолет со стороны воздуха и со стороны Земли.

С помощью измерений определить изгибающий момент силы  $M_A$ , действующий на крыло самолета относительно оси, проходящей через точку  $A$ . Масштабы сил и длин задаются соответствующими значениям на чертеже:  $q_1 = 150$  Н/м,  $F = 20$  кН,  $L_1 = 12$  м. Использовать рисунок на бланке для построений, применять угольник, транспортир, линейку. Оформить и заполнить таблицу промежуточных расчетов.

### Задача 2. Оружие быстрого склеивания

В термоклеевом пистолете, изображенном на рисунке, в качестве расходного материала используются полимерные круглые стержни двух типоразмеров: диаметром  $d_1 = 11$  мм и  $d_2 = 7$  мм. Стержни изготовлены из разных кристаллических полиолефинов, обладают плотностью в твердом состоянии  $\rho_1 = 990$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_2 = 900$  кг/м<sup>3</sup> соответственно, а их удельная теплота плавления равна  $\lambda_1 = 66$  кал/г и  $\lambda_2 = 31$  кал/г. Нагревательный элемент представляет собой цилиндрическую полость, в которой плавится стержень. Этот элемент потребляет электрическую мощность  $N = 100$  Вт, причем непосредственно на плавление стержней тратится только доля  $x$  этой мощности ( $x < 1$ ), одинаковая для обоих типов стержней. Известно, что при нажатии курка стержень первого типа подается в нагреватель с максимальной скоростью  $v_1 = 1$  мм/с. Считать, что в обоих случаях внутренний объем нагревательного элемента полностью заполняется клеевым составом с плотностью  $\rho = 830$  кг/м<sup>3</sup>. Затраты тепла на нагрев стержней до температуры плавления можно не учитывать. В одной калории содержится 4,19 Дж. В задаче возможны лишние данные.



А) С какой максимальной скоростью  $v_2$  будет подаваться стержень второго типа при прочих равных условиях?

Б) Найти отношение максимальных скоростей  $U_2/U_1$  вытекающего клея для разных стержней при прочих равных условиях.

В) Какими факторами может пользоваться мастер для увеличения/уменьшения времени застывания клеевого шва на плоской подложке? Нельзя менять тип стержня, диаметр отверстия носика, потребляемую мощность, материал подложки, внешние условия среды. Дать качественное объяснение принципа работы данных факторов.

### Задача 3. Электрическое моноколесо

Емкость батареи электрического моноколеса равна  $q = 5000 \text{ мА} \cdot \text{ч}$ . Напряжение на батарее во всех режимах (при разрядке) постоянно и равно  $U = 5 \text{ В}$ . При ее зарядке постоянным током до 60% емкости за  $t = 6$  часов выделяется тепло  $Q = 390 \text{ Дж}$ .

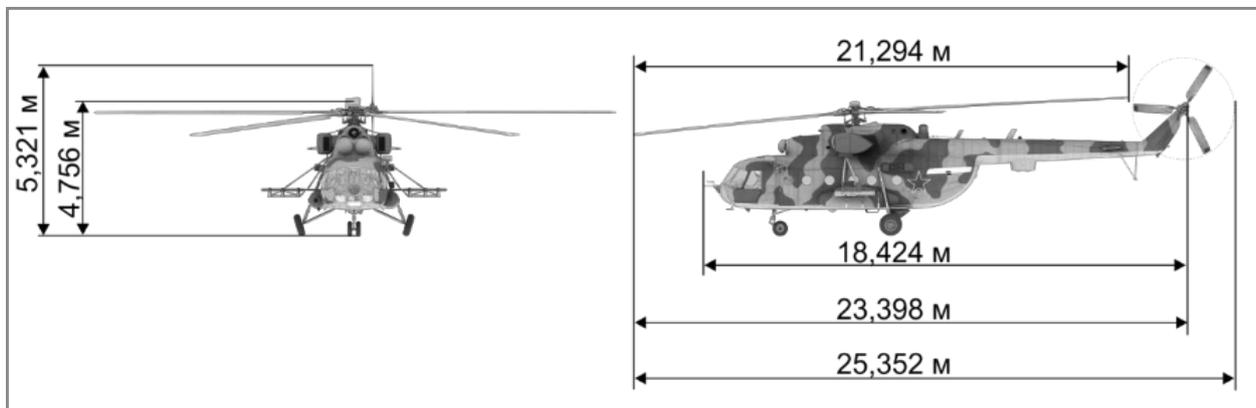
А) Каким внутренним сопротивлением  $r$  обладает батарея?

Б) Какой ток разрядки достигается на батарее в режиме максимальной мощности моноколеса? Чему равен КПД электрической схемы в этом режиме?

В) Начальное электрическое сопротивление электромотора моноколеса  $R = 10 \text{ Ом}$ . Коэффициент силы трения скольжения колеса об асфальт  $k = 0,5$ . Если массы человека и моноколеса — 50 кг и 10 кг соответственно, то каким будет максимально возможное начальное ускорение при старте с места? Найти скорость проскальзывания колеса в момент старта.

#### Задача 4. Мухожук из семейства Ми-8

Вертолет семейства Ми-8 массой  $m = 11$  тонн зависает в непосредственной близости над водой, практически касаясь ее поверхности. Давление скоростного напора потока воздуха зависит от его плотности и скорости по формуле  $p = 0,5\rho v^2$ . Недостающие параметры задать самостоятельно.

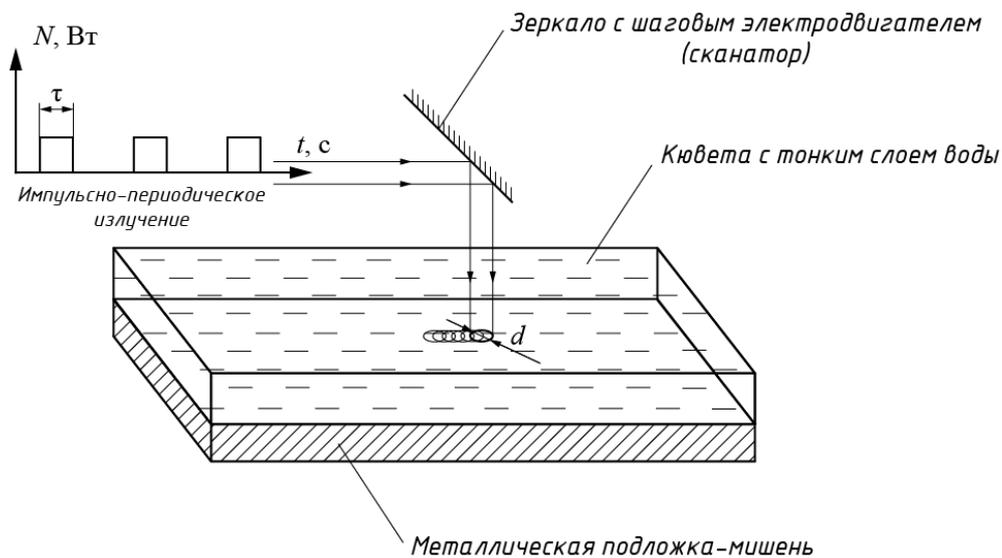


А) Под винтом уровень поверхности воды слегка понижается, образуя углубление. Грубо оценить изменение уровня воды из-за зависания вертолета.

Б) При зависании вблизи поверхности воды двигатели вертолета будут потреблять больше топлива или меньше, чем на высоте 1 км, при прочих равных условиях? Дать качественный ответ с объяснением.

#### Задача 5. Нет — дробеструйной обработке! Да — лазерной абляции!

При упрочнении поверхности металла (например, лопаток авиационных газотурбинных двигателей) методом лазерной абляции используются импульсы лазера, которые «бьют» по поверхности металла, нагревая ее в слое воды.



Причем при контакте с нагретым участком металла в воде возникает микроскопическая паровая полость, которые сначала расширяется и остывает, а потом схлопывается (кавитирует), оказывая большое ударное давление на поверхность металла, упрочняя ее. Для накопления пластических напряжений деформации в металле до нужного уровня необходимо многократно воздействовать лазерным пучком на один и тот же участок поверхности.

С другой стороны, необходимо охватить ударными воздействиями большую площадь металла; гораздо большую, чем площадь пятна лазерного пучка. Поэтому применяют сканирование, перемещая зеркальце, направляющее лазерный пучок на мишень, параллельно плоскости мишени. На практике часто используют импульсно-периодический неодимовый лазер с длиной волны излучения  $\lambda = 0,355 \text{ мкм}$ . Частота следования лазерных импульсов составляет  $1 \text{ кГц}$ , средняя скорость линейного перемещения зеркальца —  $1 \text{ мм/с}$ , а диаметр лазерного пучка на поверхности металла —  $50 \text{ мкм}$ . Энергия в каждом импульсе излучения составляет  $1 \text{ мДж}$ , длительность импульса —  $1 \text{ нс}$ . В описании могут быть даны лишние данные.

А) Найти максимальное количество импульсных воздействий лазером на одну и ту же выбранную точку на поверхности металла при сканировании (при нормальном падении излучения).

Б) Какова средняя по времени мощность в лазерном пучке (за много импульсов)?

В) В некоторых случаях лазерное упрочнение возможно в воздухе (без слоя воды). Вместо кавитирующей полости в воде возникает плазма электрического разряда оптического пробоя в воздухе, которая схлопывается и воздействует на металл. Каковы должны быть свойства металлов для их упрочнения в воздухе? Почему без воды сложнее достичь упрочнения?

### Задача 6. «Ли Си Цин, бей, а я прикрою!»

Весьма маневренный истребитель поколения «3-» изображен на рис. 1.

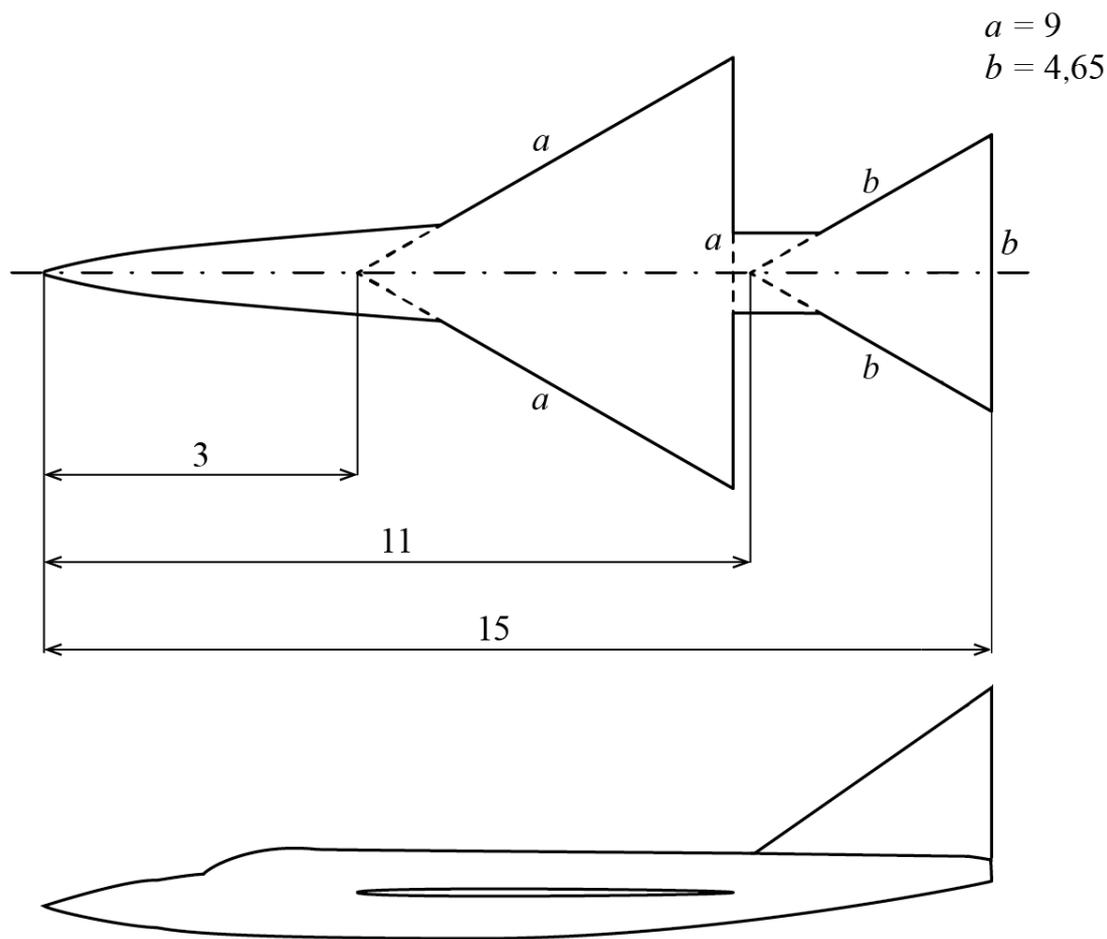


Рис. 1. Истребитель поколения «3-»

Масса фюзеляжа 5 т, масса крыла 1 т, масса горизонтального оперения (ГО) 100 кг, масса вертикального оперения (ВО) 50 кг. Все длины на рис. 1 приведены в метрах. В передней части фюзеляжа находится отсек с радиолокационным оборудованием, передней стойкой шасси и кабиной пилота, в задней — двигатель. Длина и масса отсека и двигателя одинаковы, центр масс каждого находится посередине его длины. В центре фюзеляжа расположены основные опоры шасси. Между отсеком и двигателем равноудаленно от них находится топливный бак. Топливный бак цилиндрический, толщина его стенок одинакова. Бак полностью заполнен топливом. Крыло и ГО — равносторонние тонкие треугольные пластинки постоянной поверхностной плотности, ВО — тонкая треугольная пластинка. Центр масс ВО находится ровно в середине корневой хорды (стороны, наиболее приближенной к фюзеляжу).

Подъемную силу самолета можно рассчитать по формуле Жуковского  $Y = C_y \cdot 0,5 \cdot \rho V^2 S$ ,

где  $C_y$  — коэффициент подъемной силы, определяется из рис. 2;

$\rho$  — плотность воздуха на высоте 8 км,  $\rho = 0,526 \text{ кг/м}^3$ ;

$V$  — скорость самолета, м/с

$S$  — площадь, к которой приведен коэффициент  $C_y$ .

Числом Маха называют отношение скорости самолета к скорости звука. На высоте 8 км скорость звука равна 310 м/с. На рис. 2 приведены зависимости коэффициента подъемной силы  $C_y$  от угла атаки при разных числах Маха.  $C_y$  приведен к площади 35 м<sup>2</sup>.

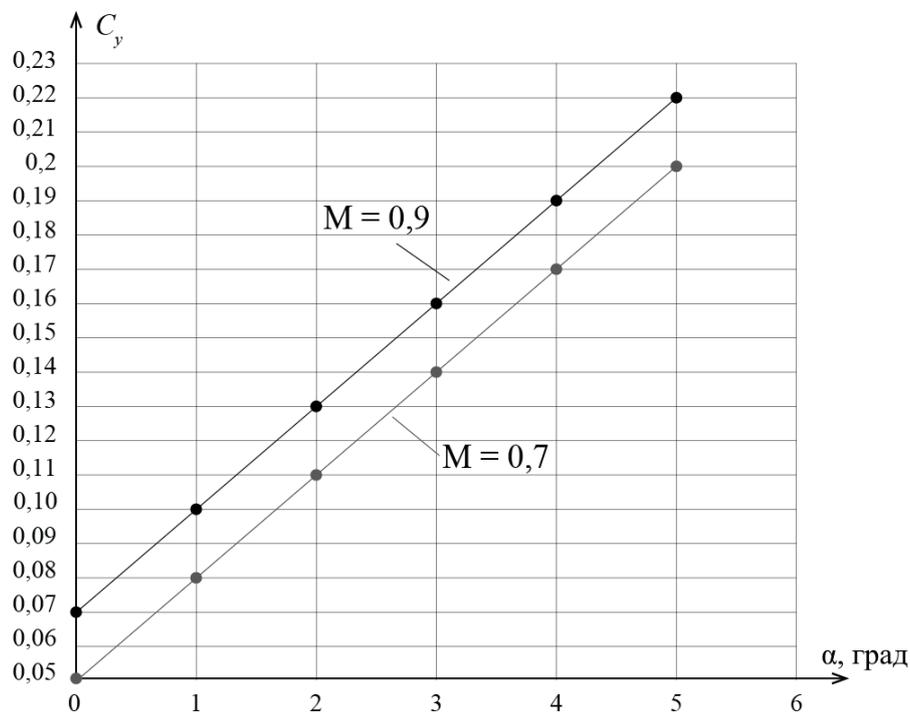
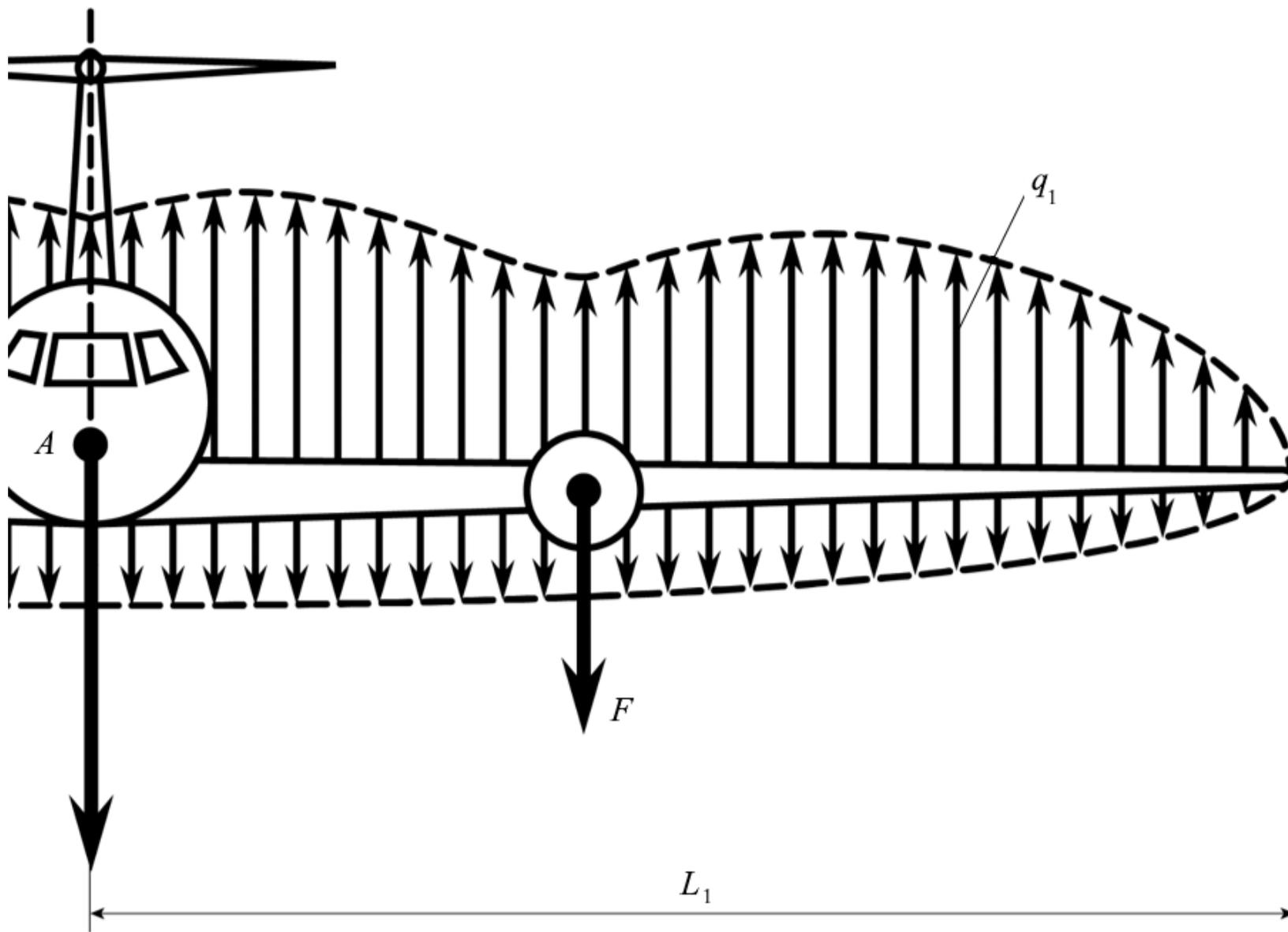


Рис. 2. Зависимость коэффициента подъемной силы от угла атаки

- А) Оценить положение центра тяжести самолета вдоль его длины.
- Б) Вычислить подъемную силу, действующую на самолет при полете на скорости 250 м/с на высоте 8 км с углом атаки  $\alpha = 2^\circ$ .
- В) В зависимости от загрузки самолета топливом и подарками центр тяжести может сместиться относительно значения, вычисленного в пункте А. При некоторых конфигурациях загрузки центр тяжести оказывается перед точкой приложения подъемной силы к крылу, при других — позади него. В каком случае нагрузка на ГО направлена вверх, а в каком — вниз, при условии, что самолет сбалансирован с перегрузкой в 1 g (т. е. летит прямолинейно с постоянной скоростью без вращения)



К задаче 1.

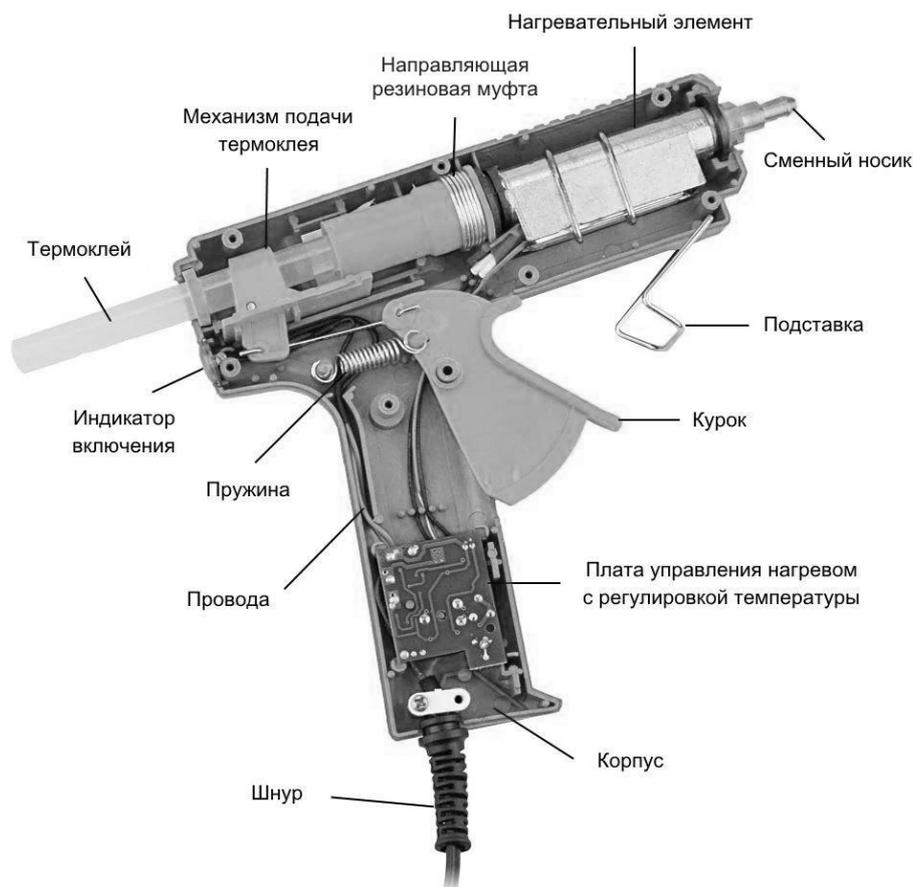
### Задача 1. Изгибающие стрелки

Эпюры нагрузок предназначены для графического представления сил и моментов, приложенных к некоторому телу. Стрелки показывают величину (пропорционально длине стрелки) и направление сил, приложенных к малым участкам тела, а также место их приложения. Если силы не имеют общей точки приложения и распределены в пространстве (например, силы давления или силы тяжести), то на эпюре их изображают совокупностью стрелок. Стрелки не могут быть нанесены для каждой точки тела, их чертят лишь для некоторых точек, расположенных достаточно часто, чтобы это позволяло с хорошей точностью рассчитать величину и направление сил в промежуточных точках. При этом расстояние между этими точками должно быть достаточно велико для того, чтобы стрелки не накладывались друг на друга. Часто концы стрелок соединяют огибающей линией. Считается, что концы всех стрелок (даже не изображенных!) должны лежать на этой огибающей. Для того чтобы задать масштаб, указывают значение силы на единицу длины профиля тела  $q$  для какой-либо определенной стрелки. На рисунке изображены эпюры сил, действующих в полете на самолет со стороны воздуха и со стороны Земли.

С помощью измерений определить скручивающий момент силы  $M_B$ , действующий на крыло самолета относительно оси, проходящей через точку  $B$ . Масштабы сил и длин задаются соответствующими значениям на чертеже:  $q_2 = 4$  кН/м,  $L_2 = 3$  м. Использовать рисунок на бланке для построений, применять угольник, транспортир, линейку. Оформить и заполнить таблицу промежуточных расчетов.

### Задача 2. Оружие быстрого склеивания

В термоклеевом пистолете, изображенном на рисунке, в качестве расходного материала используются полимерные круглые стержни двух типоразмеров: диаметром  $d_1 = 11$  мм и  $d_2 = 7$  мм. Стержни изготовлены из разных кристаллических полиолефинов, обладают плотностью в твердом состоянии  $\rho_1 = 990$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_2 = 900$  кг/м<sup>3</sup> соответственно, а их удельная теплота плавления равна  $\lambda_1 = 66$  кал/г и  $\lambda_2 = 31$  кал/г. Нагревательный элемент представляет собой цилиндрическую полость, в которой плавится стержень. Этот элемент потребляет электрическую мощность  $N = 100$  Вт, причем непосредственно на плавление стержней тратится только доля  $x$  этой мощности ( $x < 1$ ), одинаковая для обоих типов стержней. Известно, что при нажатии курка стержень первого типа подается в нагреватель с максимальной скоростью  $v_1 = 1$  мм/с. Считать, что в обоих случаях внутренний объем нагревательного элемента полностью заполняется клеевым составом с плотностью  $\rho = 830$  кг/м<sup>3</sup>. Затраты тепла на нагрев стержней до температуры плавления можно не учитывать. В одной калории содержится 4,19 Дж. В задаче возможны лишние данные.



А) Какова доля тепловых потерь?

Б) Найти скорость клея  $U_1$ , вытекающего из носика площадью отверстия  $s = 4 \text{ мм}^2$  в первом случае.

В) За счет каких приспособлений, содержащихся в конструкции термопистолета, можно менять его производительность, если судить по рисунку? Дать качественное объяснение принципа работы данных факторов. Физические воздействия оператора и типоразмер клеевого стержня не менять.

### Задача 3. Электрическое моноколесо

Емкость батареи электрического моноколеса равна  $q = 10000 \text{ мА} \cdot \text{ч}$ . Напряжение на батарее во всех режимах (при разрядке) постоянно и равно  $U = 5 \text{ В}$ . Батарея заряжается постоянным током до 70% емкости за  $t = 6$  часов.

А) При определенном режиме ток разрядки батареи моноколеса превышает средний ток зарядки в десять раз. Какова электрическая мощность моноколеса и электрическое сопротивление его электромотора в этом режиме?

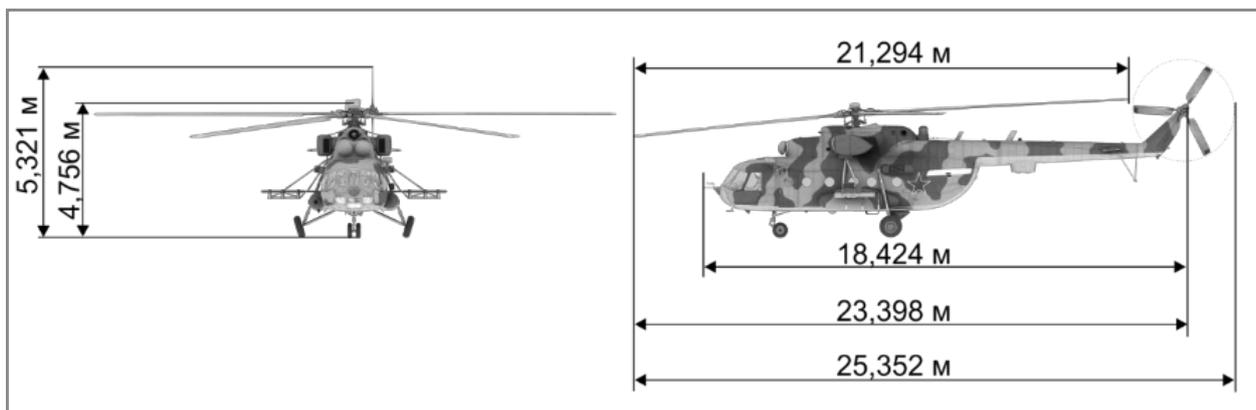
Б) Какую силу сопротивления воздуха преодолевает человек на этом моноколесе, если едет со скоростью  $V = 18 \text{ км/ч}$  по горизонтальной дороге? Силой трения качения пренебречь. Режим разрядки соответствует пункту А.

В) Среднее электрическое сопротивление электрической цепи электродвигателя рассматриваемого моноколеса равно  $R = 5 \text{ Ом}$ . Какое максимальное расстояние по горизонтальной дороге с постоянной скоростью сумеет преодолеть человек на этом

моноколесе, израсходовав полный (100%) заряд батареи? Силу сопротивления воздуха считать прямо пропорциональной квадрату скорости. Использовать данные пунктов А и Б.

#### Задача 4. Мухожук из семейства Ми-8

Вертолет семейства Ми-8 массой  $m = 11$  тонн зависает в непосредственной близости над водой, практически касаясь ее поверхности. Давление скоростного напора потока воздуха зависит от его плотности и скорости по формуле  $p = 0,5\rho v^2$ . Недостающие параметры задать самостоятельно.

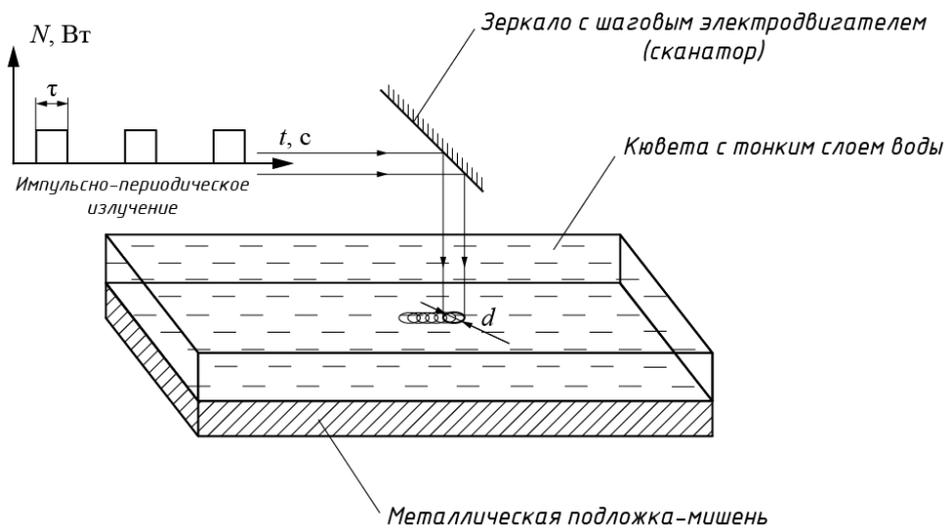


А) Грубо оценить горизонтальную скорость струй воздуха вблизи вертолета, растекающегося из-под законцовок лопастей его несущего винта во все стороны, считая воздух несжимаемым с плотностью  $1,25 \text{ кг/м}^3$ .

Б) При зависании вблизи поверхности воды двигатели вертолета будут потреблять больше топлива или меньше, чем в случае зависания над твердой горизонтальной поверхностью, при прочих равных условиях? Дать качественный ответ с объяснением.

#### Задача 5. Нет — дробеструйной обработке! Да — лазерной абляции!

При упрочнении поверхности металла (например, лопаток авиационных газотурбинных двигателей) методом лазерной абляции используются импульсы лазера, которые «бьют» по поверхности металла, нагревая ее в слое воды.



Причем при контакте с нагретым участком металла в воде возникает микроскопическая паровая полость, которые сначала расширяется и остывает, а потом схлопывается (кавитирует), оказывая большое ударное давление на поверхность металла, упрочняя ее. Для накопления пластических напряжений деформации в металле до нужного уровня необходимо многократно воздействовать лазерным пучком на один и тот же участок поверхности. С другой стороны, необходимо охватить ударными воздействиями большую площадь металла; гораздо большую, чем площадь пятна лазерного пучка. Поэтому применяют сканирование, перемещая зеркальце, направляющее лазерный пучок на мишень, параллельно плоскости мишени. На практике часто используют импульсно-периодический неодимовый лазер с длиной волны излучения  $\lambda = 0,355$  мкм. Частота следования лазерных импульсов составляет 1 кГц, средняя скорость линейного перемещения зеркальца — 1 мм/с, а диаметр лазерного пучка на поверхности металла — 50 мкм. Энергия в каждом импульсе излучения составляет 1 мДж, длительность импульса — 1 нс. В описании могут быть даны лишние данные.

А) Сколько энергии (максимально, с эффектом накопления за несколько импульсов) подводит лазерный пучок на единицу поверхности металла в процессе сканирования (эта величина в англоязычной научной литературе называется «флюенс» (fluence) и выражается в Дж/см<sup>2</sup>)?

Б) Какова средняя мощность в отдельном импульсе?

В) Перечислите как можно больше видов потерь лазерного излучения при таком способе упрочнения.

### Задача 6. «Ли Си Цин, бей, а я прикрою!»

Весьма маневренный истребитель поколения «3-» изображен на рис. 1.

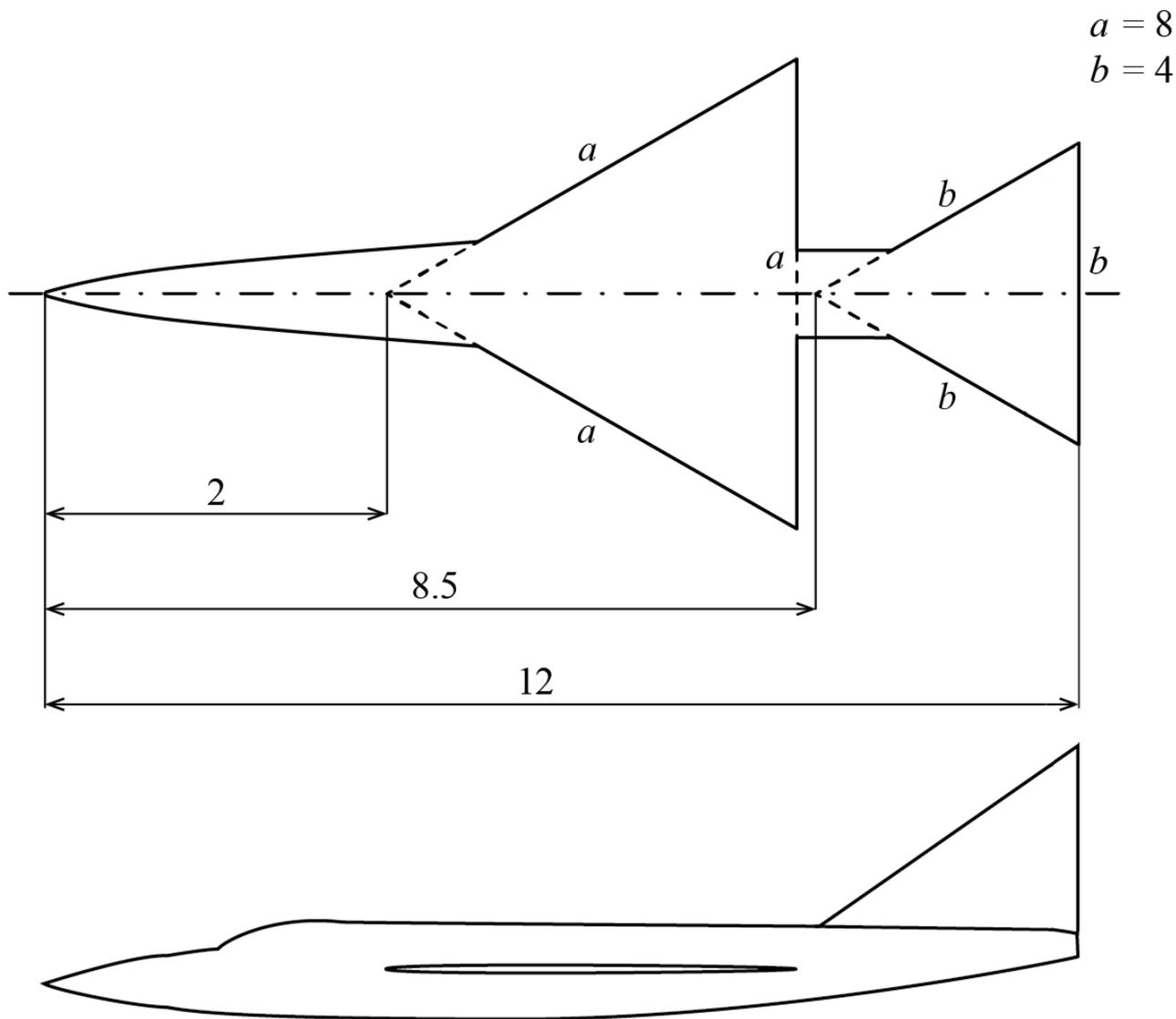


Рис. 1. Истребитель поколения «3-»

Масса фюзеляжа 3,5 т, масса крыла 800 кг, масса горизонтального оперения (ГО) 100 кг, вертикального оперения (ВО) — 50 кг. Все длины на рис. 1 приведены в метрах. В передней части фюзеляжа находится отсек с радиолокационным оборудованием, передней стойкой шасси и кабиной пилота, в задней — двигатель. Длина и масса отсека и двигателя одинаковы, центр масс каждого находится посередине его длины. В центре фюзеляжа расположены основные опоры шасси. Между отсеком и двигателем равноудаленно от них находится топливный бак. Топливный бак цилиндрический, толщина его стенок одинакова. Бак полностью заполнен топливом. Крыло и ГО — равносторонние тонкие треугольные пластинки постоянной поверхностной плотности, ВО — тонкая треугольная пластинка. Центр масс ВО находится ровно в середине корневой хорды (стороны, наиболее приближенной к фюзеляжу).

Подъемную силу самолета можно рассчитать по формуле Жуковского  $Y = C_y \cdot 0,5 \cdot \rho V^2 S$ , где  $C_y$  — коэффициент подъемной силы, определяется из рис. 2;

$\rho$  — плотность воздуха, на высоте 10 км  $\rho = 0,418 \text{ кг/м}^3$ ;

$V$  — скорость самолета, м/с

$S$  — площадь, к которой приведен коэффициент  $C_y$ .

Числом Маха называют отношение скорости самолета к скорости звука. На высоте 10 км скорость звука 300 м/с. На рис. 2 приведены зависимости коэффициента подъемной силы от угла атаки  $\alpha$  при разных числах Маха.  $C_y$  приведен к площади  $30 \text{ м}^2$ .

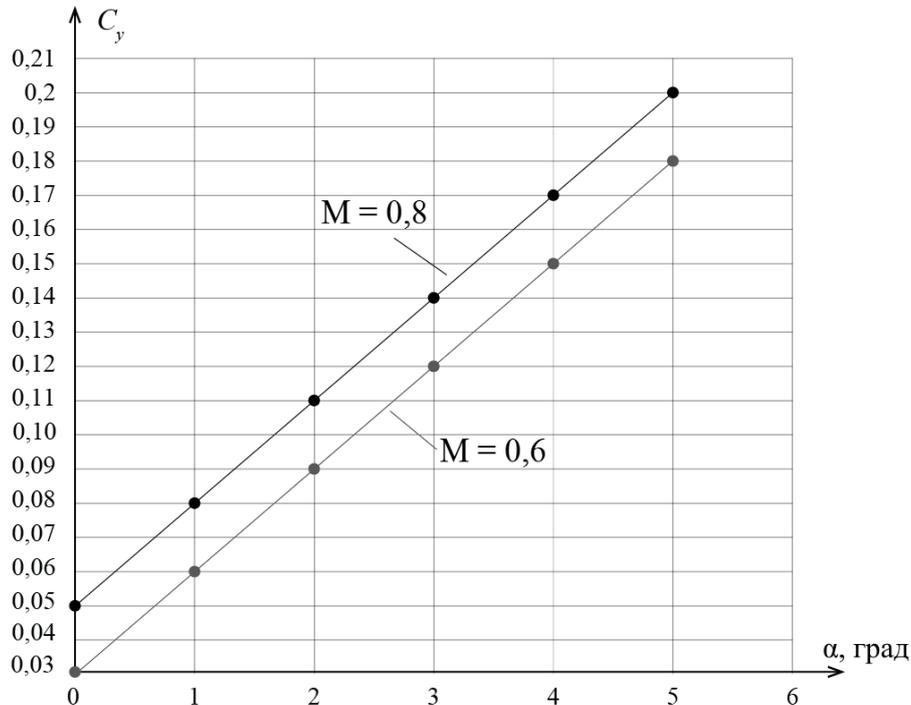
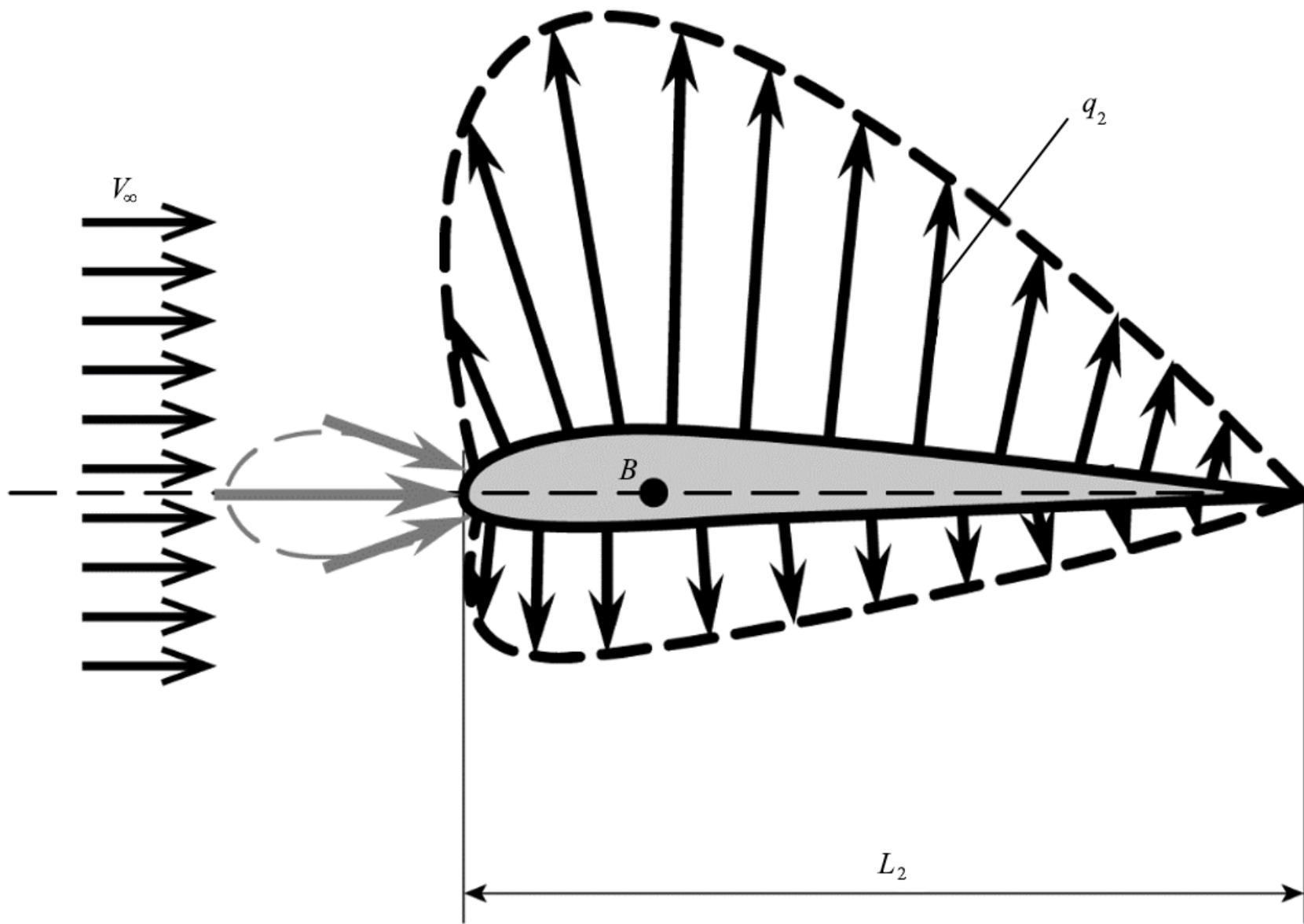


Рис. 2. Зависимость коэффициента подъемной силы от угла атаки

А) Оценить положение центра тяжести самолета вдоль его длины.

Б) Вычислить подъемную силу, действующую на самолет при полете на скорости 210 м/с на высоте 10 км с углом атаки  $\alpha = 4^\circ$ .

В) В зависимости от загрузки самолета топливом и подарками центр тяжести может сместиться относительно значения, вычисленного в пункте А. При некоторых конфигурациях загрузки центр тяжести оказывается перед точкой приложения подъемной силы к крылу, при других — позади него. В каком случае нагрузка на ГО направлена вверх, а в каком — вниз, при условии, что самолет сбалансирован с перегрузкой в  $1g$  (т. е. летит прямолинейно с постоянной скоростью без вращения)?



К задаче 1.