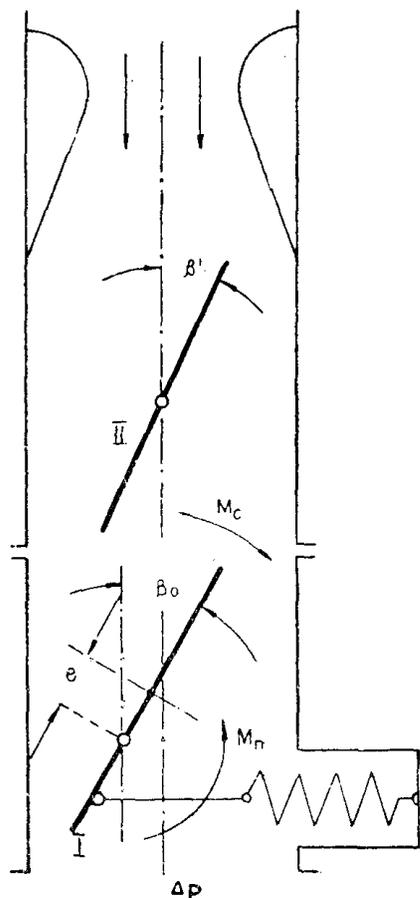


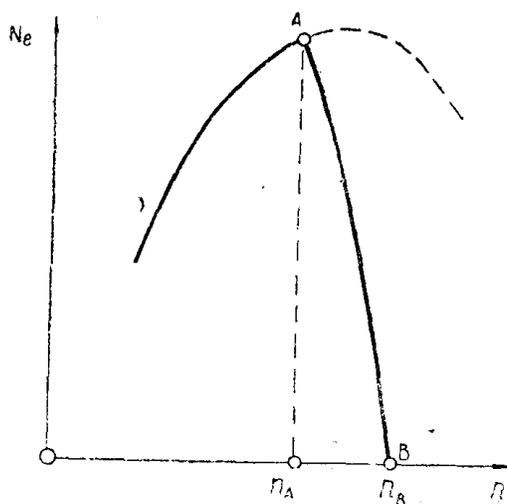


Регуляторная заслонка может поворачиваться на своей оси в определенных пределах: от слегка наклонного к оси патрубка регулятора положения, характеризуемого начальным или „установочным“ углом  $\beta_0$ , до положения  $\beta = \beta_{max}$ , соответствующего полному прикрытию заслонки. Определенная величина начального угла  $\beta_0$  обеспечивается особыми ограничителями или упорами, расположенными на заслонке или на ее оси.

Аэродинамическое воздействие потока рабочей смеси, поступающей из карбюратора в двигатель, на расположенную наклонно к направлению потока заслонку I приводит к появлению на этой заслонке некоторого крутящего момента  $M_c$ , направленного в сторону прикрытия заслонки. Моменту  $M_c$  противодействует момент  $M_n$ , развиваемый на заслонке усилием регуляторной пружины, установленной с некоторой первоначальной затяжкой  $F_0$ .



Фиг. 1



Фиг. 2

При неизменном положении обеих заслонок (фиг. 1) момент  $M_c$  на регуляторной заслонке возрастает с увеличением числа оборотов двигателя  $n$ . При нормальных скоростях вращения вала двигателя ( $n < n_A$ ) момент  $M_c$  меньше начального крутящего момента  $M_{n0}$ , создаваемого на заслонке пружиной регулятора, и регуляторная заслонка сохраняет свое положение наибольшего открытия. В случае разгона двигателя при большом открытии дросселя карбюратора, т. е. при  $n > n_A$ , момент  $M_c$  превысит начальный момент пружины  $M_{n0}$ , и заслонка регулятора начнет прикрываться, уменьшая этим (помимо воли водителя) наполнение двигателя и ограничивая таким образом дальнейшее повышение скорости вращения коленчатого вала.

Регуляторная характеристика  $AB$  двигателя с дроссель-регулятором может иметь, например, вид, показанный на фиг. 2 (в координатах  $N_e$  — эффективная мощность двигателя,  $n$  — число оборотов коленчатого вала в минуту).

Ее начальная точка  $A$  лежит на внешней характеристике двигателя; ее конечная точка  $B$  соответствует холостому ходу двигателя.

Степень неравномерности регулятора:

$$\delta = \frac{n_B - n_A}{n_{cp}},$$

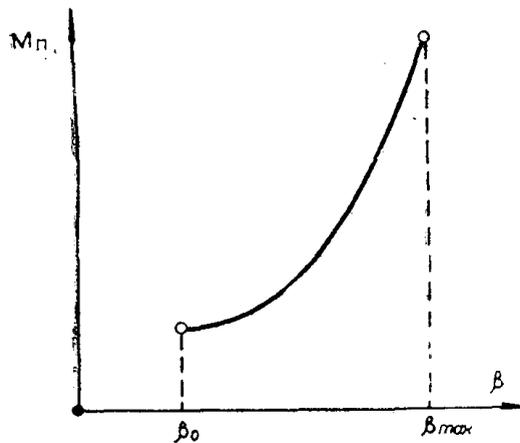
где

$$n_{cp} = \frac{n_B + n_A}{2}$$

не является для предельных регуляторов особо показательной характеристикой. Здесь более существенны непосредственно абсолютные величины  $n_A$  и  $n_B$ , то есть тех чисел оборотов, в интервале которых происходит включение регулятора и ограничение максимальной скорости двигателя.

Конкретные значения предельных чисел оборотов двигателя  $n_A$  и  $n_B$  определяются, в первую очередь, величинами действующих на регуляторную заслонку моментов  $M_c$  и  $M_n$ . Эти моменты изменяются по мере увеличения скорости вращения вала (момент  $M_c$ ) и прикрытия дроссельной и регуляторной заслонок.

Момент  $M_n$  не зависит от  $\beta'$  и  $n$  и возрастает с прикрытием регуляторной заслонки, то есть с увеличением угла  $\beta$ . (Фиг. 3).



Фиг. 3

Момент  $M_c$  является сложной функцией формы и размеров заслонки, ее угла поворота  $\beta$  и характеристик проходящего через регулятор потока рабочей смеси. Можно показать, что величина этого момента (в случае если заслонка имеет обычную эллиптическую или прямоугольную форму и малую толщину) определяется приближенным выражением:

$$M_c = k_1 q + k_2 \Delta p_{12}, \quad (1)$$

где

$$k_1 = BF_3 \left( c_2 + c_1 - \frac{e}{B} \right),$$

$$k_2 = F_3 \cdot e.$$

Здесь  $F_3$  — площадь заслонки;

$B$  — большая ось эллипса заслонки или для прямоугольной заслонки длина ее стороны, перпендикулярной оси вращения;

$e$  — эксцентриситет заслонки (расстояние центра тяжести площади заслонки от оси вращения последней);

$c_1$  и  $c_2$  — коэффициенты, зависящие от формы заслонки, угла ее поворота  $\beta$  и угла  $\beta_{max}$ , соответствующего полному прикрытию заслонки (величины  $c_1$  и  $c_2$  могут быть определены продувкой заслонки на специальной установке);

$\Delta p_{12}$  — статический перепад давления на регуляторной заслонке, равный разности статических давлений потока рабочей смеси перед заслонкой ( $p_1$ ) и за заслонкой ( $p_2$ );

$q = \frac{\gamma_1 V^2}{2g}$  — динамическое давление потока смеси перед заслонкой;

$V, \gamma_1$  — соответственно скорость и удельный вес потока рабочей смеси перед заслонкой.

Формулу (1) можно представить в более общем виде:

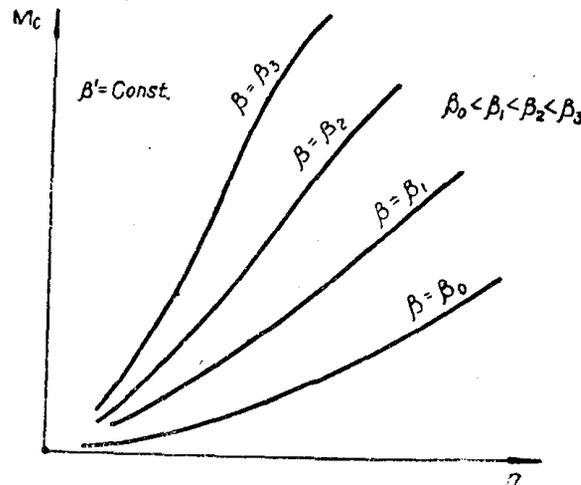
$$M_c = c_m B F_3 \Delta p, \quad (2)$$

где  $\Delta p$  — абсолютное статическое разрежение под регуляторной заслонкой, измеренное на некотором расстоянии от заслонки;

$c_m$  — суммарный моментный коэффициент, определяемый, согласно формуле (1), выражением:

$$c_m = c_2 \frac{q}{\Delta p} + \frac{e}{B} \left( \frac{\Delta p_{12}}{\Delta p} + c_1 \frac{q}{\Delta p} \right). \quad (3)$$

Отношения  $\frac{q}{\Delta p}$  и  $\frac{\Delta p_{12}}{\Delta p}$  зависят от гидравлических характеристик всасывающей системы двигателя от воздухоочистителя до впускного трубопровода и от абсолютной величины разрежения  $\Delta p$  под регуляторной заслонкой. Это разрежение меняется при изменении числа оборотов вала двигателя и положения регуляторной заслонки  $\beta$ . Таким образом, в каждой конкретной мо-



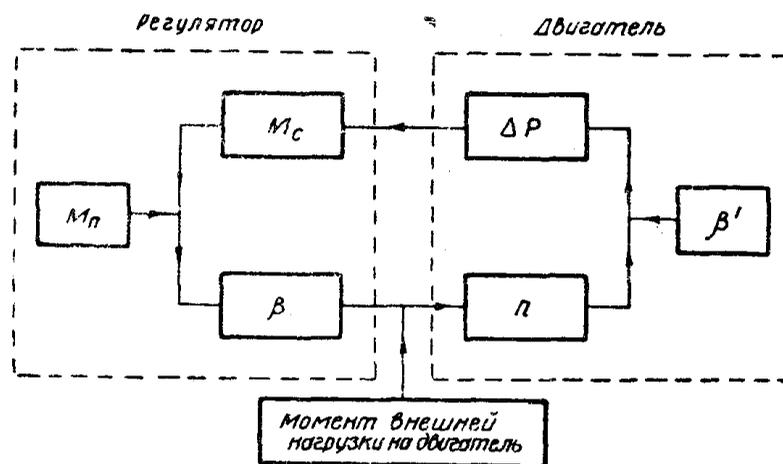
Фиг. 4

торной установке, при постоянных внешних атмосферных условиях и неизменном  $\beta'$ , момент  $M_c$  на регуляторной заслонке является функцией двух переменных: скорости вращения вала двигателя  $n$  и угла  $\beta$  (фиг. 4). Но при заданной внешней нагрузке на двигатель и постоянном положении дроссельной заслонки карбюратора ( $\beta' = \text{const}$ ) скорость вращения вала двигателя определяется величиной проходного сечения, открываемого регуляторной заслонкой, то есть, в конечном счете, также величиной угла  $\beta$ . В свою очередь равновесное положение регуляторной заслонки обуславливается закономерностями изменения момента  $M_c$  по  $n$  и  $\beta$  и момента  $M_n$  по  $\beta$ .

Таким образом, в рассматриваемой системе регулирования с дроссель-регулятором имеется кольцевая зависимость ряда переменных, условно представленная на фиг. 5. Изменение любой из переменных в этом кольце ведет к изменению всех других переменных.<sup>1)</sup> Здесь разрежение  $\Delta p$  под заслонкой регулятора является как бы связующим звеном между двигателем и регулятором. На эту связь можно воздействовать со стороны—изменением характеристик пружины регулятора и изменением положения дроссельной заслонки карбюратора, то есть угла  $\beta'$ .

Изменение положения заслонки карбюратора, совершенно обычное в условиях эксплуатации автомобильного двигателя, оказывает весьма существенное и, как будет показано ниже, в основном нежелательное влияние на характеристики регулятора по фиг. 1.

Отсюда вытекает необходимость исследования работы дроссель-регулятора особо для различных величин угла  $\beta'$  от  $\beta' = 0$  (полное открытие дросселя карбюратора) до той предельной его величины, при которой еще воз-



Фиг. 5

можно чрезмерное повышение скорости двигателя ( $n > n_B$ ) в случае сброса с двигателя всей его внешней нагрузки. При этом исследовании неизбежно использование ряда опытных зависимостей, представленных не уравнениями, а графиками и имеющих, как правило, нелинейный характер. Поэтому аналитическое исследование дроссель-регуляторов оказывается весьма затруднительным.

Ниже излагается графический способ анализа работы дроссель-регуляторов, который может быть использован как при расчете регуляторов, так и при их доводке и настройке.

## 2. Графическое исследование простейшего дроссель-регулятора (при $\beta' = 0$ , полный дроссель)

Совместный учет основных факторов, влияющих на работу дроссель-регулятора, можно произвести на описанной ниже диаграмме (фиг. 6). Здесь по четырем координатным осям откладываются величины  $N_e$ ,  $M_c$ ,  $M_n$ ,  $n$ ,  $h$ ,  $F$ ,  $\beta$  в соответствующих масштабах.<sup>2)</sup> Масштабы для величин моментов  $M_c$  и  $M_n$ ,

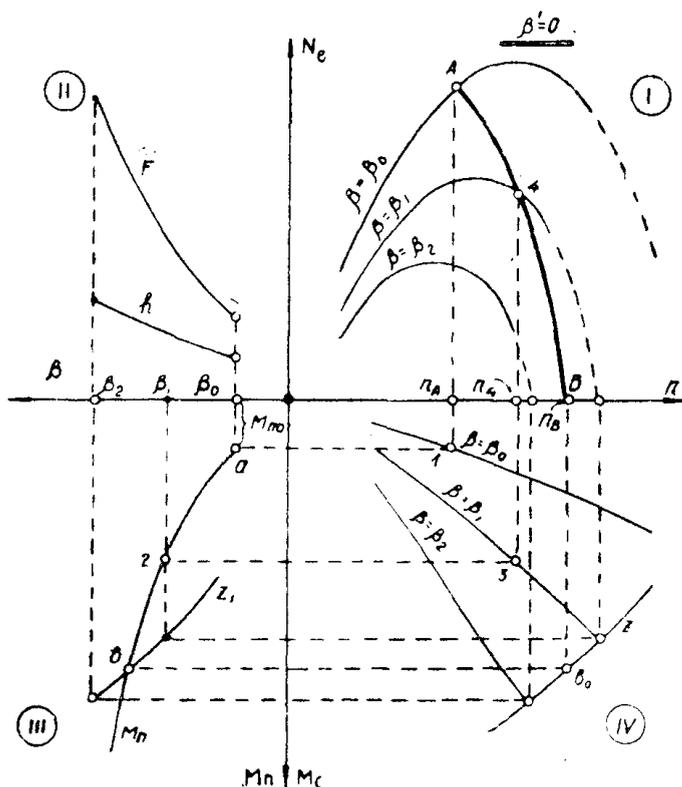
<sup>1)</sup> Кольцевая зависимость—обычна для систем автоматического регулирования двигателей. Здесь случайное изменение какой-либо переменной может сказаться, после обхода всего кольца, уменьшенным или усиленным. В последнем случае система регулирования будет неустойчивой.

<sup>2)</sup> Величины  $h$  и  $F$ , пропущенные на фиг. 6, откладываются по вертикальной координатной оси квадранта II.

откладываемых по одной оси, должны быть одинаковыми. Масштабы всех остальных величин выбираются любыми, сообразно желательным размерам всей диаграммы.

В квадранте I диаграммы (фиг. 6) представлены внешняя и частичные характеристики двигателя  $N_e = f_1(n)$  по заслонке регулятора (при неизменном полном открытии заслонки карбюратора,  $\beta' = 0$ ) для ряда различных фиксированных положений  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots$  заслонки регулятора, в пределах от  $\beta = \beta_0$  до тех наибольших значений угла  $\beta$ , при которых еще возможна работа двигателя на холостом ходу ( $N_e = 0$ ) при достаточно высоких скоростях двигателя. Каждой частичной характеристике соответствует определенное постоянное значение угла  $\beta$ , указанное на фиг. 6, около каждой кривой  $N_e$ . Внешняя характеристика соответствует значению  $\beta = \beta_0$ .

В квадранте IV представлены кривые изменения крутящего момента  $M_c = f_2(n)$  на регуляторной заслонке при  $\beta' = 0$ , для тех же фиксированных значений угла  $\beta$ , которые были избраны ранее для частичных характеристик двигателя, показанных в квадранте I.



Фиг. 6

Каждая кривая  $M_c$  ограничивается справа (на фиг. 6) предельным значением  $n$ , соответствующим холостому ходу ( $N_e = 0$ ) двигателя при данном фиксированном положении регуляторной заслонки  $\beta = \text{const}$ . Эти крайние точки кривых  $M_c$  находятся на вертикалях, проведенных через конечные (лежащие на оси абсцисс  $n$ ) точки частичных характеристик двигателя в квадранте I. Геометрическое место крайних точек кривых  $M_c$  представляет собою некоторую кривую  $Z$ , которая может быть названа кривой холостого хода двигателя.

В квадранте III диаграммы показана кривая изменения момента пружины  $M_n = f_3(\beta)$ . В квадранте II представлены кривые изменения усилия  $F$  пружины регулятора и плеча  $h$  этого усилия относительно оси вращения регуляторной заслонки.

Для каждого данного конкретного двигателя с данными регулятором и карбюратором кривые  $N_e = f_1(n)$  и  $M_c = f_2(n)$  могут быть получены экспериментальным путем (построены по точкам): внешняя и частичные характеристики  $N_e$  (при  $\beta' = 0$ ) — обычными способами, принятыми при испытаниях двигателя на стенде; кривые  $M_c$  — здесь же, с помощью специального приспособления, позволяющего измерять момент  $M_c$  на регуляторной заслонке во время работы двигателя.

Кривая  $M_n = f_3(\beta)$  строится по данным тарировки пружины регулятора на неработающем двигателе путем приложения к заслонке регулятора различных, известных по величине внешних крутящих моментов и замера соответствующих углов поворота  $\beta$  регуляторной заслонки. Начальная точка  $a$  кривой  $M_n$  определяется установочным углом  $\beta_0$  регуляторной заслонки, усилием  $F_0$  первоначальной затяжки регуляторной пружины и начальным значением плеча  $h$ :  $M_{n0} = F_0 h$ .

При исследовании или доводке регулятора может оказаться более целесообразным аналитический путь определения момента  $M_n$  по выражению

$$M_n = Fh,$$

где  $F$  и  $h$  — функции угла  $\beta$  (квадрант II на фиг. 6). Входящие сюда значения  $F$  и  $h$  определяются аналитически или графически по известным характеристике пружины и геометрическим соотношениям механизма связи заслонки регулятора с пружиной. В случае экспериментального определения моментов  $M_n$  (тарировкой) кривые  $F$  и  $h$  в квадранте II не являются необходимыми.

Семейство кривых  $N_e = f_1(n)$  в квадранте I диаграммы на фиг. 6 представляет собою характеристику двигателя совместно с его всасывающей системой, карбюратором и заслонкой регулятора; семейство кривых  $M_c = f_2(n)$  (квадрант IV) — совместную характеристику регулятора и всасывающей системы двигателя с карбюратором; наконец, кривая  $M_n = f_3(\beta)$  в квадранте III — характеристику упругих элементов регулятора. С помощью всех этих кривых можно построить регуляторную характеристику  $AB$  двигателя, которую можно рассматривать как некоторую суммарную статическую характеристику системы регулирования в целом.

Начальная точка  $A$  регуляторной характеристики определяется следующим образом. Через начальную точку  $a$  кривой  $M_n$  (квадрант III) проводим горизонталь  $a-1$  до пересечения ее в точке 1 (квадрант IV) с кривой  $M_c$ , построенной для случая  $\beta = \beta_0$ .

Очевидно, что абсцисса точки 1, соответствующая равенству

$$M_c = M_{n0} \quad \text{при} \quad \beta = \beta_0,$$

определяет собою то число оборотов двигателя  $n_A$ , при котором регулятор вступит в действие, и его заслонка начнет прикрываться (трением на оси регуляторной заслонки, которое может явиться причиной некоторой нечувствительности регулятора, пренебрегаем).

Вертикаль, проведенная через точку 1, пересекает внешнюю характеристику двигателя (кривую  $N_e = f_1(n)$  для  $\beta' = 0$  и  $\beta = \beta_0$ ) в искомой точке  $A$ . При  $\beta = \beta_0$  и  $n < n_A$  регуляторная заслонка сохраняет свое начальное положение ( $\beta = \beta_0$ ), так как здесь

$$M_c < M_{n0}.$$

Подобным же образом могут быть построены и другие, промежуточные, точки регуляторной характеристики. Так, например, при  $\beta = \beta_1$  момент  $M_n$  пружины определяется ординатой точки 2 на кривой  $M_n = f_3(\beta)$ . Горизонталь через точку 2 пересекает кривую  $M_c$  (для  $\beta = \beta_1$ ) в некоторой точке 3. Вертикаль, проведенная через точку 3, пересекает соответствующую ( $\beta = \beta_1$ )

частичную характеристику двигателя в точке 4, принадлежащей, очевидно, регуляторной характеристике  $AB$ .

Положение конечной точки  $B$  регуляторной характеристики находится с помощью особого построения. Для этого кривую  $Z$  граничных значений момента  $M_c$  переносим в квадрант III (фиг. 6), проектируя точки этой кривой из квадранта IV по горизонталям в квадрант III, на вертикали, соответствующие тем же значениям угла  $\beta$ , которым отвечает каждая данная точка кривой  $Z$ . Получаем кривую  $Z_1$ .

Конечная точка  $B$  регуляторной характеристики удовлетворяет условию  $N_e = 0$ , то есть точка  $B$  в квадранте I лежит на оси абсцисс  $n$ . Кроме того, здесь

$$M_c = M_n,$$

то есть точке  $B$  отвечает точка  $b$  пересечения кривых  $M_n$  и  $Z_1$  в квадранте III. Переносим точку  $b$  по горизонтали на кривую  $Z$  (квадрант IV), получаем точку  $b_0$ . Пересечение вертикали через точку  $b_0$  с осью абсцисс  $n$  дает на последней искомую крайнюю точку  $B$  регуляторной характеристики и соответствующее предельное число оборотов двигателя  $n_B$ .

### 3. Работа простейшего дроссель-регулятора при частично прикрытом дросселе карбюратора ( $\beta' > 0$ )

При частичном прикрытии дроссельной заслонки карбюратора, то есть при повороте ее на некоторый угол  $\beta' = \beta'_1$  от оси диффузора карбюратора и неизменном числе оборотов двигателя (что может иметь, например, место при соответствующем уменьшении внешней нагрузки на двигатель), разрежение  $\Delta p$  под заслонкой регулятора возрастает, а секундная масса потока рабочей смеси, поступающей в двигатель, уменьшается.

При этом, естественно, уменьшается динамическое давление  $q$  перед заслонкой регулятора и, при неизменном положении регуляторной заслонки ( $\beta = \text{const}$ ), статический перепад давления  $\Delta p_{12}$  на ней.

Но, согласно формуле (1), уменьшение давлений  $q$  и  $\Delta p_{12}$  приводит к уменьшению (при прежних  $\beta$  и  $n$ ) величины крутящего момента  $M_c$  на регуляторной заслонке по сравнению с тем его значением, которое имело место при полном открытии дросселя карбюратора ( $\beta' = 0$ ).

Теперь кривые момента на заслонке  $M'_c$  (построенные для случая  $\beta' = \beta'_1$  и показанные на фиг. 7 пунктирными линиями) расположатся ближе к оси абсцисс, нежели кривые  $M_c$  момента на заслонке при  $\beta' = 0$ . Равным образом, вследствие уменьшения наполнения двигателя, снизятся и внешняя и частичные характеристики  $N_e'$  двигателя (построенные, как и ранее, для различных значений угла  $\beta$ , но при фиксированном положении дросселя карбюратора  $\beta' = \beta'_1$ ) по сравнению с внешними и частичными характеристиками для случая  $\beta' = 0$ , которые были использованы нами ранее на фиг. 6.

Каждому конкретному значению угла  $\beta'$  будут соответствовать определенные семейства кривых  $N_e$  и  $M'_c$ . Кривая же  $M_n$  остается, очевидно, неизменной при любых значениях угла  $\beta$ . (Сплошные кривые  $N_e$  и  $M_c$  на фиг. 7 те же, что и на фиг. 6, то есть относятся к случаю  $\beta' = 0$ ).

По кривым  $M'_c$ ,  $M_n$  и  $N_e'$ , способом, описанным выше, на фиг. 7 построена регуляторная характеристика  $A'B'$  для случая работы двигателя при частично прикрытом ( $\beta' = \beta'_1$ ) дросселе карбюратора.

Из диаграммы на фиг. 7 следует, что по мере прикрытия дросселя карбюратора в устройстве по фиг. 1:

а) начальная точка  $A$  регуляторной характеристики смещается вправо, в сторону более высоких значений  $n$ ;

б) кривая холостого хода  $Z$  (в квадранте IV) сдвигается влево, в сторону меньших значений  $n$ , а кривая  $Z_1$  (в квадранте III) приближается к оси



ние „движущих“ моментов  $M_c$  на регуляторной заслонке и снижение работоспособности регулятора.

#### 4. Улучшенные схемы дроссель-регуляторов

Отмеченные выше существенные недостатки простейшего регулятора по фиг. 1 могут быть частично или полностью устранены рядом мероприятий:

1) изменением, в зависимости от положения дроссельной заслонки карбюратора, жесткости  $c$  и усилия  $F_0$  начальной затяжки пружины регулятора (уменьшение этой затяжки по мере увеличения угла  $\beta'$ ) посредством устройства соответствующей механической связи регуляторной пружины с заслонкой карбюратора;

2) применением специального пневматического устройства (вакуум-корректора), обеспечивающего принудительное закрытие регуляторной заслонки в тех случаях, когда собственная работоспособность регулятора оказывается недостаточной;

3) соответствующим изменением (увеличением) первоначального (установочного) угла  $\beta_0$  регуляторной заслонки по мере прикрытия дроссельной заслонки карбюратора.

Первый путь улучшения характеристик дроссель-регулятора посредством применения специального устройства для автоматического изменения характеристик регуляторной пружины по мере прикрытия заслонки карбюратора связан с значительными конструктивными трудностями.

Второй путь (устройство вакуум-корректора) использован, например, в предельном регуляторе Хенди, устанавливаемом на некоторых двигателях грузовых автомобилей Шевроле. В отличие от регуляторной заслонки, откликающейся на динамическое давление  $q$  потока рабочей смеси и перепад давления  $\Delta p_{12}$  на заслонке, вакуум-корректор реагирует на изменения абсолютного (статического) разрежения  $\Delta p_1$  между карбюратором и регулятором. При  $n = \text{const}$  это разрежение  $\Delta p_1$ , в противовес уменьшающимся динамическому давлению  $q$  и перепаду  $\Delta p_{12}$ , по мере прикрытия дросселя карбюратора непрерывно возрастает.

В регуляторе Хенди<sup>1)</sup> поршень вакуум-корректора находится с одной стороны, под действием атмосферного давления, а с другой — разрежения  $\Delta p_1$ . Поршень нагружен слабой пружинкой, установленной с определенной первоначальной затяжкой. При больших углах  $\beta'$  прикрытия заслонки карбюратора и достаточно высоких скоростях двигателя усилие, создаваемое на поршне вакуум-корректора разностью  $\Delta p_1$  давлений по обе его стороны, преодолевает начальную затяжку этой пружины и обеспечивает перемещение поршня. При этом конец штока поршня, действуя на выступ на регуляторной заслонке, прикрывает последнюю. Соответствующим подбором диаметра поршня и характеристик пружины вакуум-корректора можно обеспечить удовлетворительную работу предельного дроссель-регулятора при больших углах  $\beta'$  прикрытия заслонки карбюратора.

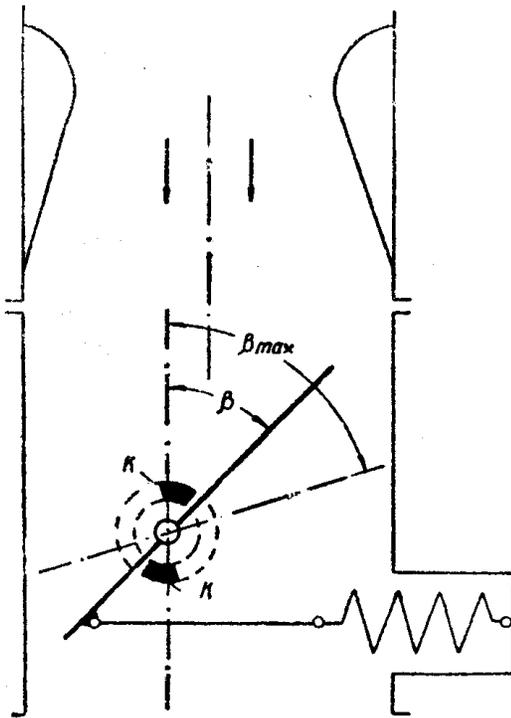
Но применение вакуум-корректора приводит к усложнению конструкции регулятора и к уменьшению надежности его работы.

Однако применения вакуум-корректора можно избежать. Для этого необходимо лишь обеспечить соответствующее увеличение установочного угла  $\beta_0$  регуляторной заслонки по мере прикрытия заслонки карбюратора (третий из перечисленных выше способов улучшения характеристик пневматических регуляторов). Таким путем при надлежащем подборе параметров регулятора удастся компенсировать нежелательное (в отношении эффективности дроссель-регулятора как ограничителя максимальных оборотов двигателя) влия-

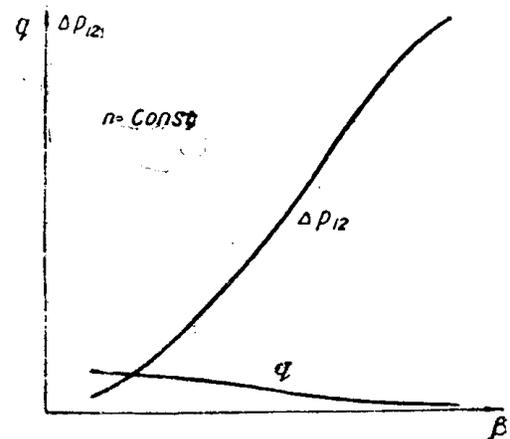
<sup>1)</sup> Описание конструкции этого регулятора можно найти, например, в книге „Автомобиль“, под редакцией проф. Зимелева, 1951.

ние прикрытия заслонки карбюратора на величину момента  $M_c$  на регуляторной заслонке.

Но в этих условиях остается сделать еще один шаг—совместить функции дроссельной заслонки карбюратора и функции регуляторной заслонки в одном элементе, что и выполнено, например, в отечественных карбюраторах К—49, К—49А, МКЗ—14, К—80. Здесь дроссельная, она же регуляторная, заслонка свободно сидит на оси и все время удерживается в начальном (под углом  $\beta_0$  к оси диффузора) положении усилием регуляторной пружины, если только этому не препятствуют особые кулачки  $K$ , связанные с газовой педалью (фиг. 8). При подъеме газовой педали эти кулачки поворачиваются и прикрывают дроссельную заслонку, преодолевая сопротивление регуляторной пружины. Заслонка будет прикрываться так же и под действием момента  $M_c$ , если величина этого момента окажется достаточной для преодоления момента  $M_n$  регуляторной пружины (кулачки имеют одностороннее действие и не ограничивают движения заслонки в сторону ее закрытия).



Фиг. 8



Фиг. 9

Теперь во всасывающей системе двигателя имеется лишь одна заслонка, если не считать еще воздушную заслонку с ее особыми функциями. Такое объединение дроссельной и регуляторной заслонок выгодно не только с точки зрения некоторого упрощения конструкции карбюратора и регулятора. Главное заключается в том, что здесь, при переводе двигателя на работу по частичным характеристикам (за счет прикрытия заслонки водителем через газową педаль), условия работы этой же заслонки, как основного элемента регулятора, оказываются значительно более благоприятными, нежели в рассмотренном выше простейшем регуляторе по фиг. 1.

Здесь, в устройстве с „объединенной“ заслонкой, при увеличении угла  $\beta$  и неизменной скорости двигателя ( $n = \text{const}$ ) динамическое давление  $q$  перед заслонкой уменьшается, а статический перепад  $\Delta p_{12}$  на заслонке возрастает (фиг. 9). При достаточно большой величине положительного эксцентриситета  $e$  заслонки это увеличение перепада  $\Delta p_{12}$  с увеличением угла  $\beta$  будет иметь решающее влияние на величину момента  $M_c$  и полностью компенси-

рует отрицательный эффект уменьшения динамического давления  $q$  в формуле (1).<sup>1)</sup>

В целом, комбинированный регулятор (например, типа К—49) получается достаточно простым и компактным. В нем отсутствуют отмеченные выше недостатки простейшего регулятора по фиг. 1—значительное запаздывание включения регулятора при работе двигателя на прикрытом дросселе. В комбинированном регуляторе устраняются и недостатки, присущие регулятору с вакуум-корректором (возможное заедание элементов регулятора), так как регуляторная, она же дроссельная, заслонка во время эксплуатации двигателя почти все время находится в движении. Появление чрезмерного трения или заедания заслонки на ее оси сразу обнаружится водителем по резкому ухудшению тяговых свойств машины.

## 5. Регуляторная характеристика комбинированного дроссель-регулятора (типа К—49)

Для исследования комбинированных дроссель-регуляторов можно воспользоваться изложенным выше графическим методом. Основой для исследования служит та же диаграмма по фиг. 6, которая была построена ранее, при рассмотрении работы простейшего регулятора по фиг. 1, для случая  $\beta' = 0$ .

Теперь кривые  $N_e = f_1(n)$  для  $\beta = \text{const}$  (при  $\beta > \beta_0$ ) являются в полном смысле частичными характеристиками двигателя. Кривую же  $N_e = f_1(n)$  для „установочного“ положения заслонки ( $\beta = \beta_0$ ) надлежит считать внешней характеристикой двигателя, так как она определяет собою максимальные величины эффективной мощности  $N_e$ , которые можно получить с данного двигателя, с установленным на нем комбинированным дроссель-регулятором, имеющим фиксированную величину угла  $\beta_0$ .

Переход двигателя с комбинированным дроссель-регулятором на работу по частичным характеристикам не приводит к изменению или смещению кривых  $M_c = f_2(n)$  в IV квадранте диаграммы. Эти кривые остаются теми же, что и для регулятора по фиг. 1, для случая полного открытия дросселя карбюратора при условии, конечно, одинаковых аэродинамических характеристик регуляторных заслонок в рассматриваемом комбинированном регуляторе и в регуляторе по фиг. 1.

Крайние точки  $A$  и  $B$  регуляторной характеристики двигателя с комбинированным регулятором определяются (фиг. 6) совершенно так же, как и раньше, при исследовании простейшего регулятора при  $\beta' = 0$ . Подобным же образом могут быть найдены и любые промежуточные точки регуляторной характеристики.

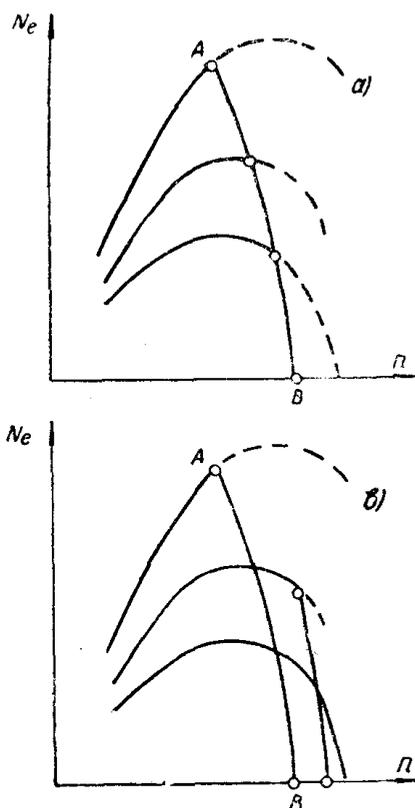
В рассматриваемом комбинированном регуляторе положение заслонки (угол  $\beta$ ) определяется положением газовой педали (ограничивающей максимальное открытие заслонки, то есть минимальное значение  $\beta$ ), усилием регуляторной пружины (уменьшающим  $\beta$ ) и моментом  $M_c$ , направленным в сторону увеличения угла  $\beta$ . Пусть соответствующим воздействием водителя на газовую педаль заслонка установлена сейчас в некотором промежуточном положении  $\beta = \beta_1$ . При этом на заслонку действует момент пружины  $M_n$ , определяемый ординатой точки 2 на кривой  $M_n$ . Горизонталь через точку 2 пересекает кривую  $M_c$ , соответствующую углу  $\beta = \beta_1$  в некоторой точке 3.

<sup>1)</sup> Под положительным эксцентриситетом мы понимаем величину смещения центра тяжести средней плоскости заслонки от оси вращения заслонки, и а в с т р е ч у набегающему потоку рабочей смеси.

Можно показать, что регуляторная заслонка без эксцентриситета ( $e = 0$ ) или с отрицательным эксцентриситетом ( $e < 0$ ) не обеспечивает непрерывного увеличения момента  $M_c$  (при  $\Delta p = \text{const}$ ) по углу поворота заслонки  $\beta$ , и поэтому не пригодна в качестве рабочего элемента дроссель-регулятора.

Пересечение вертикали через точку 3 с частичной характеристикой  $N_c$  двигателя, соответствующей тому же углу  $\beta_1$ , дает точку 4, лежащую, очевидно, на регуляторной характеристике  $AB$ .

При  $\beta = \beta_1$  и  $n < n_4$ , где  $n_4$  — абсцисса точки 4 регуляторной характеристики, регулятор не действует и дроссельная заслонка сохраняет свое угловое положение  $\beta = \beta_1$ , оказываясь прижатой к управляемым газовой педалью упорам-ограничителям разностью моментов  $M_n$  и  $M_c$ . Равновесие между  $M_n$  и  $M_c$  наступит только при  $n = n_4$ . При дальнейшем повышении числа оборотов двигателя ( $n > n_4$ ) появится избыточный момент  $M_c - M_n$  и заслонка начнет прикрываться.



Фиг. 10

Таким образом, число оборотов двигателя, соответствующее началу работы комбинированного регулятора, несколько повышается по мере перевода двигателя на работу на все более прикрытых дросселях. Однако предельное число оборотов двигателя  $n_B$  на холостом ходу остается здесь всегда (при неизменных, конечно, атмосферных условиях) одним и тем же, независимо от положения газовой педали. Начало же включения регулятора каждый раз определяется абсциссой точки пересечения соответствующей частичной характеристики двигателя  $N_c$  с регуляторной характеристикой  $AB$  (фиг. 10а). На фиг. 10в показаны для сравнения регуляторные характеристики двигателя с регулятором на фиг. 1.

## 6. Влияние характеристик регуляторной пружины на работу дроссель-регулятора

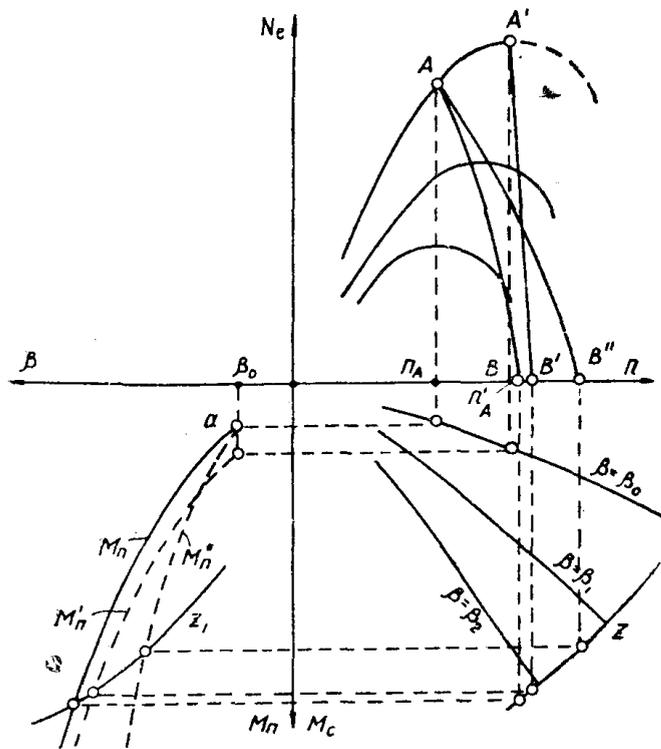
Из диаграммы на фиг. 6 следует, что положение крайних точек регуляторной характеристики  $AB$  в координатах  $N_c$  и  $n$  в решающей степени зависит от закономерностей изменения момента  $M^n$  пружины регулятора по

углу поворота регуляторной заслонки  $\beta$ , то есть от формы и положения кривой  $M_n$  в квадранте III диаграммы. В свою очередь, положение и форма кривой  $M_n = f_3(\beta)$  обуславливаются упругими характеристиками регуляторной пружины, ее жесткостью  $c$  и первоначальной затяжкой  $F_0$ , и геометрическими параметрами механизма связи пружины с заслонкой. Эти параметры механизма определяют собою законы изменения плеча  $h$  и деформации удлинения пружины  $z$  по углу  $\beta$ .<sup>1)</sup>

При заданном механизме связи пружины с заслонкой положение кривой  $M_n = f_3(\beta)$  в координатах  $M_n$  и  $\beta$  зависит только от жесткости пружины и усилия  $F_0$  ее первоначальной затяжки.

Увеличение усилия  $F_0$  приводит к смещению кривой  $M_n$  в квадранте III диаграммы дальше от оси абсцисс обычно без существенного изменения ее формы (например, кривая  $M'_n$  на фиг. 11). При этом регуляторная характеристика  $AB$  сдвигается вправо, в сторону больших скоростей двигателя  $n$  и приходит в некоторое новое положение  $A'B'$ . Регулятор включается теперь при более высоком числе оборотов двигателя  $n'_A$  и имеет меньшую степень неравномерности  $\delta'$ .

Увеличение жесткости пружины, например, выключением части рабочих ее витков, при сохранении неизменной начальной затяжки  $F_0$ , приводит как бы к повороту кривой  $M_n = f_3(\beta)$  в квадранте III около ее начальной точки  $a$  и, вероятно, к некоторому изменению формы кривой. Кривая  $M_n''$  подни-



Фиг. 11

мается теперь более круто вдоль оси ординат. При этом начальная точка  $A$  регуляторной характеристики остается на месте, а конечная точка  $B''$  перемещается в сторону более высоких значений  $n_B$ . Степень неравномерности регулятора  $\delta$  увеличивается.

<sup>1)</sup> На фиг. 8 механизм связи пружины с заслонкой показан условно, в самой упрощенной форме. В действительности этот механизм, по ряду соображений, выполняется по несколько более сложным схемам.

Таким образом, подбором соответствующих жесткости и первоначальной затяжки регуляторной пружины можно обычно обеспечить получение необходимых, установленных, например, заданием значений предельных чисел оборотов  $n_A$  и  $n_B$  и степени неравномерности  $\delta$ .

Однако качество работы регулятора зависит не только от положения крайних точек  $A$  и  $B$  регуляторной характеристики в координатах  $N_e$  и  $n$ , но и от формы кривой  $AB$  между этими точками (см. ниже).

Желательный или приемлемый вид регуляторной характеристики  $AB$  может быть получен только в результате надлежащего расчета и подбора характеристик пружины регулятора, правильного выбора размеров и формы регуляторной заслонки (величин  $e$ ,  $\beta_0$ ,  $\beta_{max}$  и т. д.), а также схемы и геометрических параметров механизма связи пружины с заслонкой.

Вопросы методики выбора оптимальных параметров механизма и расчета предельного дроссель-регулятора заслуживают особого рассмотрения и будут освещены в следующих статьях автора. Здесь же мы ограничиваемся общим указанием на принципиальную возможность реализации регуляторной характеристики  $AB$  заданного вида и с заданной, но не слишком малой величиной степени неравномерности  $\delta$ . Условиями для этого являются выбор соответствующих характеристик регуляторной заслонки (ее формы, размеров, эксцентриситета) и надлежащий расчет и конструктивное обеспечение необходимой кривой момента пружины  $M_n = f_3(\beta)$ .

## 7. Форма регуляторной характеристики и статическая устойчивость дроссель-регулятора

Как следует из предыдущего, изменение упругих характеристик пружины регулятора очень сильно сказывается на положении (в координатах  $N_e$  и  $n$ ) и форме регуляторной характеристики  $AB$ , а также и на величине степени неравномерности  $\delta$ .

Но формой регуляторной характеристики и величиной  $\delta$  определяется статическая устойчивость или неустойчивость системы регулирования.

Неустойчивость регулятора может оказаться не особо нежелательной и иногда даже полезной в предельном дроссель-регуляторе, выполняющем лишь функции ограничителя максимальных оборотов двигателя и работающем фактически только вне области эксплуатационных скоростей двигателя. Но эта неустойчивость будет совершенно неприемлемой, если на дроссель-регулятор возложены обязанности однорежимного регулятора скорости двигателя в зоне эксплуатационных скоростей последнего. Здесь неустойчивость регулятора проявится в больших и постоянных колебаниях скорости регулируемого двигателя.

В аналитической форме условие статической устойчивости дроссель-регулятора выражается элементарным соотношением:

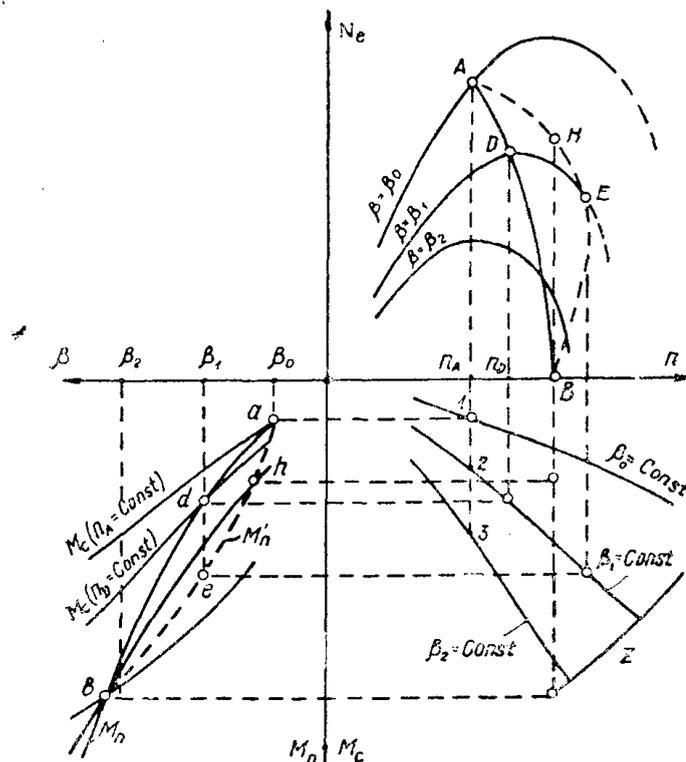
$$\frac{\partial M_c}{\partial \beta} < \frac{\partial M_n}{\partial \beta}, \quad (4)$$

которое должно выполняться при любых значениях угла  $\beta$  и любых (по крайней мере в интервале от  $n_A$  до  $n_B$ ) числах оборотов двигателя.

Проведем через начальную точку  $A$  регуляторной характеристики  $AB$  вертикаль (фиг. 12). Она пересечет кривые  $M_c$ , построенные для различных фиксированных значений угла  $\beta$ , в квадранте IV в точках 1, 2, 3... Перенесим эти точки по горизонталям в квадрант III на вертикали, отвечающие тем же значениям угла  $\beta$ . Получим кривую, представляющую собою зависимость  $M_c = f_4(\beta)$  при постоянном числе оборотов двигателя  $n = n_A = \text{const}$ . Аналогичным образом можно построить серию кривых  $M_c = f_4(\beta)$  для ряда значений  $n$  в интервале тех чисел оборотов двигателя, при которых должен работать регулятор.

Условие (4) статической устойчивости регулятора требует, чтобы в точках пересечения кривой  $M_n$  с каждой из кривых  $M_c = f_4(\beta)$  кривая момента пружины  $M_n$  поднималась более круто к оси ординат ( $M_n, M_c$ ), нежели кривая  $M_c$ . Для этого кривая момента пружины  $M_n = f_3(\beta)$  должна иметь достаточную крутизну подъема вдоль оси ординат.

Точке  $D$  регуляторной характеристики  $ADB$  соответствует точка  $d$  пересечения кривых  $M_n = f_3(\beta)$  и  $M_c = f_4(\beta)$  при  $n = n_D = \text{const}$  в квадранте III. Очевидно, что точка  $d$  удовлетворяет условию (4), то есть регуляторная заслонка при  $\beta = \beta_1$  и  $n = n_D$  (точка  $D$  на характеристике  $ADB$ ) находится в устойчивом равновесии. Условию (4) удовлетворяют и все другие точки регуляторной характеристики  $ADB$  (фиг. 12), ординаты которой непрерывно убывают по мере увеличения числа оборотов двигателя  $n$ . Здесь по мере прикрытия регуляторной заслонки, то есть при движении точки  $D$  по характеристике  $ADB$  к точке  $B$ , точка  $d$  непрерывно перемещается по кривой  $M_n = f_3(\beta)$  в сторону возрастающих значений момента пружины  $M_n$ .



Фиг. 12

Какой-либо новой кривой момента пружины  $M'_n$ , но проходящей через прежние точки  $a$  и  $b$  соответствует и новая регуляторная характеристика  $AHEB$  (фиг. 12). Теперь вертикаль, проведенная, например, через точку  $B$ , пересекает кривую  $AHEB$  во второй точке  $H$ . Это означает, что кривая  $M'_n$  пересекает кривую  $M_c = f(\beta)$ , построенную для  $n = n_B$ , в двух точках  $b$  и  $h$ . Но легко видеть, что обе точки  $b$  и  $h$  не могут одновременно удовлетворять условию (4): это условие выполняется в точке  $h$  и нарушается в точке  $b$ .

Следовательно, точка  $H$  регуляторной характеристики  $AHEB$  отвечает устойчивому равновесию регуляторной заслонки, а точка  $B$  — неустойчивому равновесию.

Пусть  $E$  — крайняя правая (на фиг. 12) точка регуляторной характеристики  $AHEB$ . Очевидно, что регуляторная заслонка устойчива только на участке  $AE$  характеристики и неустойчива на участке  $EB$ . Больше того,

можно сказать, что вполне устойчивым является только участок  $AH$ , соответствующий интервалу оборотов двигателя от  $n_A$  до  $n_B$ . На участке же  $HE$  регуляторная заслонка обладает лишь ограниченной устойчивостью: при больших случайных колебаниях заслонки, например, около равновесной точки  $h$  возможен „перескок“ ее в точку  $b$  нового, но уже неустойчивого равновесия.

Таким образом, для обеспечения статической устойчивости дроссель-регулятора по всей регуляторной характеристике необходимо чтобы:

а) вся регуляторная характеристика  $AB$  в координатах  $N_e$  и  $n$  располагалась правее вертикали, проведенной через начальную точку  $A$  характеристики, то есть выполнялось условие  $n_B > n_A$  и, кроме того,

б) каждому значению числа оборотов двигателя  $n$  в пределах, охватываемых регуляторной характеристикой, соответствовала только одна точка пересечения кривых  $M_c$  и  $M_n$  в квадранте III на фиг. 12.

Исправить неустойчивую регуляторную характеристику дроссель-регулятора можно соответствующим изменением характеристик пружины (ее жесткости) и изменением параметров механизма связи пружины с заслонкой. В отдельных случаях будет полезным увеличение эксцентриситета  $e$  регуляторной заслонки.