



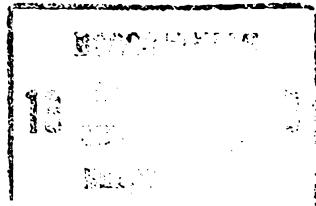
СОЮЗ СОВЕТСКИХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ
РЕСПУБЛИК

(19) SU (11) 888671

A

4 (51) G 01 J 5/52

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ



ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(21) 2915901/18-25
(22) 14.05.80
(46) 23.03.85. Бюл. № 11
(72) И.А. Васильева и А.С. Уринсон
(71) Институт высоких температур
АН СССР
(53) 536.35(088.8)
(56) 1. Кадышевич А.Е. Измерение тем-
пературы пламени. М., "Наука", 1961,
с. 85.

2. Лицки Я. Разработка системы для
измерения температуры в двухфазной
струе продуктов сгораемой угольной
пыли. В сб.: МГД-электростанции на
твёрдом топливе. Под ред. Шумяцко-
го Б.Я. ЦВТ, АН СССР, 1979, с. 132
(прототип).

(54)(57) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРА-
ТУРЫ ГАЗА И ЧАСТИЦ В РАБОЧЕМ ТЕЛЕ
МГД-ГЕНЕРАТОРА, заключающийся в том,
что измеряют интенсивность излучения
источника сравнения $\Phi_1(\lambda_1)$, интенсив-
ность излучения рабочего тела $\Phi_2(\lambda_1)$,
интенсивность излучения рабочего те-
ла, просвечиваемого излучением источ-
ника сравнения $\Phi_3(\lambda_1)$ по крайней ме-
ре на двух длинах волн λ_1 и λ_2 , одна
из которых λ_1 расположена в области
резонансной линии щелочного металла,
отличающейся тем, что, с
целью повышения точности измерения
температуры газа и частиц, длину волн
 λ_2 выбирают так, что она отстоит
от λ_1 на расстоянии, определяемом
соотношением:

$$\frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\Delta\lambda_\Phi} > \left[\frac{5.5 \cdot 10^{19}}{\tau(\lambda_2)} \frac{\rho}{T_{\min}} \gamma \alpha \chi \right]^{\frac{1}{\chi}}$$

где ρ - давление продуктов сго-
рания, атм;

T_{\min} - приближенное значение
минимально возможной
температуры рабочего
тела МГД-генератора, °К;

γ % - мольное содержание ато-
мов щелочного металла с
резонансной линией на λ_1 ;

χ - глубина излучателя, см;

$\tau(\lambda_2)$ - допустимая оптическая
плотность на λ_2 ;

$\alpha \Delta\lambda_\Phi$ - атомарный фойхтовский
коэффициент поглощения
(см^2) на расстоянии $\Delta\lambda_\Phi$
от центра линии,

где фойхтовский контур переходит в
степенной с показателем степени $(-\chi)$,
причем при проведении измерений на
длинах волн λ_1 и λ_2 из последователь-
ности сигналов $\Phi_1(\lambda_1)$, $\Phi_2(\lambda_1)$, $\Phi_3(\lambda_1)$
при требуемой погрешности $K(\%)$ вы-
бирают лишь те группы, которые удов-
летворяют соотношению

$$\frac{(\Phi_1(\lambda_1) - \Phi_3(\lambda_1))^2}{\Phi_2(\lambda_1)} \frac{\Phi_2(\lambda_1) + \Phi_1(\lambda_1) + \Phi_3(\lambda_1)}{(\Phi_1(\lambda_1) + \Phi_2(\lambda_1) - \Phi_3(\lambda_1))^2} <$$

$$< \left(\frac{14380}{\lambda_1 T_{\max}} \right)^2 \frac{10^{-4} K^2}{K_1},$$

где K_1 - коэффициент, определяющий
величины дробового эффек-
та в фотоприемнике с раз-
мерностью, равной размер-
ности $\Phi_1(\lambda_1)$:

T_{\max} - приближенное значение мак-
симально возможной темпе-
ратуры рабочего тела МГД-
генератора, °К;

λ_i - длины волн, мкм.

Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано для измерения температуры продуктов сгорания рабочего тела МГД-генератора.

Известен способ определения температуры продуктов сгорания методом обращения спектральных линий [1].

При определении температуры газа этим методом измеряют три световых потока в области спектральной линии, характеризующей излучение газа: интенсивность излучения источника сравнения $\Phi_1(\lambda_i)$ с известной температурой T_1 , интенсивность излучения продуктов сгорания $\Phi_2(\lambda_i)$, интенсивность излучения продуктов сгорания и просвечиваемого излучением источника сравнения $\Phi_3(\lambda_i)$ для соответствующей длины волны λ_i ($i = 1, 2$).

С помощью этих трех величин можно определить температуру чисто газообразных продуктов сгорания, однако, если в продуктах сгорания имеются твердые или жидкие частицы, то данным способом определить температуру газа и частиц нельзя.

Наиболее близким к изобретению является способ определения газа и частиц в рабочем теле МГД-генератора, заключающийся в том, что измеряют интенсивность излучения $\Phi_1(\lambda_i)$, $\Phi_2(\lambda_i)$, $\Phi_3(\lambda_i)$ на разных длинах волн λ_1 и λ_2 , при этом λ_1 — длина волны, характерная для резонансной линии калия, а λ_2 выбирают так, чтобы излучение на этой длине волны было связано только с частицами [2].

Однако измерение температуры газа и частиц ведется с неконтролируемой в процессе опытов случайной приборной погрешностью. Если при измерениях в стационарной среде эту погрешность можно уменьшить увеличением числа измерений, то при исследовании нестационарного рабочего тела МГД-генератора этого сделать нельзя, когда характерное время измерения рабочего тела в МГД-генераторе сравнимо со временем между получением двух последовательных групп сигналов $\Phi_1(\lambda_i)$, $\Phi_2(\lambda_i)$, $\Phi_3(\lambda_i)$, по которым рассчитывается температура.

Нет критерия, который определяет количественно расстояние между длинами волн λ_1 , λ_2 . Такой критерий необходим, так как резонансные линии щелочных металлов в МГД-генераторах обладают широкими крыльями и есть

опасность при выборе λ_2 , опирающемся лишь на знание расположения соседних спектральных линий, оставаться на крыле линии и получить сведения о температуре частиц с большой неконтролируемой погрешностью.

Целью изобретения является повышение точности измерения температуры.

Поставленная цель достигается тем, что в способе определения температуры газа и частиц в рабочем теле МГД-генератора, заключающемся в том, что измеряют интенсивность излучения источника сравнения $\Phi_1(\lambda_i)$, интенсивность излучения рабочего тела $\Phi_2(\lambda_i)$, интенсивность излучения рабочего тела, просвечиваемого излучением источника сравнения $\Phi_3(\lambda_i)$, по крайней мере на двух длинах волн λ_1 и λ_2 , одна из которых λ_1 расположена в области резонансной линии щелочного металла, длину волны λ_2 выбирают так, что она отстоит от λ_1 на расстоянии, определяемом соотношением:

$$\frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\Delta \lambda_\phi} > \left[\frac{5.5 \cdot 10^{-13}}{\varepsilon(\lambda_2)} \frac{\rho}{T_{\min}} \gamma \% \cdot \varepsilon_{1, \Delta \lambda_\phi} \right]^{-x},$$

где ρ — давление продуктов сгорания атм;

T_{\min} — приближенное значение минимально возможной температуры рабочего тела МГД-генератора, $^{\circ}\text{K}$;

$\gamma \%$ — молярное содержание атомов щелочного металла с резонансной линией на λ_1 ;

ε — глубина излучателя, см;

$\varepsilon(\lambda_2)$ — допустимая оптическая плотность линий на λ_2 ;

$\varepsilon_{1, \Delta \lambda_\phi}$ — атомарный фойхтовский коэффициент поглощения (см^2) на расстоянии $\Delta \lambda_\phi$ от центра линии,

где фойхтовский контур переходит в степенной с показателем степени ($-x$), причем при проведении измерений на длинах волн λ_1 и λ_2 из последовательности групп сигналов $\Phi_1(\lambda_i)$, $\Phi_2(\lambda_i)$, $\Phi_3(\lambda_i)$ при заданной погрешности K выбирают лишь те группы, которые удовлетворяют соотношению

$$\frac{\left(\frac{\Phi_1(\lambda_i) - \Phi_3(\lambda_i)}{\Phi_2(\lambda_i)} \right)^2 \Phi_2(\lambda_i) + \Phi_1(\lambda_i) + \Phi_3(\lambda_i)}{\left(\Phi_1(\lambda_i) + \Phi_2(\lambda_i) - \Phi_3(\lambda_i) \right)^2} < x$$

$$< \left(\frac{14380}{\lambda_i T_{\max}} \right)^2 \frac{10^{-4} K^2}{K_1},$$

где k_1 - коэффициент, определяющий величину дробового эффекта в фотоприемнике с размерностью, равной размерности $\Phi_1(\lambda_i)$;

T_{\max} - приближенное значение максимального возможной температуры рабочего тела МГД-генератора, $^{\circ}\text{K}$;

λ_i - длины волн, мкм.

Таким образом, имея возможность вводить и использовать в способе два количественных критерия, определяющих качество и пригодность каждого произведенного измерения на выбранной длине волны и расстояние между длинами волн λ_1 и λ_2 , можно провести определение температуры рабочего тела МГД-генератора с заданной точностью.

Критерий, определяющий качество произведенных измерений, может быть получен из анализа случайных приборных погрешностей устройства для измерения температуры. Приемным элементом устройств, измеряющим интенсивности $\Phi_1(\lambda_i)$, $\Phi_2(\lambda_i)$, $\Phi_3(\lambda_i)$, обычно является фотоприемник, величина случайных приборных погрешностей при этом определяется, главным образом, дробовым эффектом фотоприемника.

Учитывая это, можно записать выражение приборной относительной случайной погрешности в измерении температуры в следующем виде

$$\left(\frac{\Delta T}{T}\right)^2 = \left(\frac{\lambda_i T}{14380}\right)^2 \frac{\left(\frac{\Phi_1(\lambda_i) - \Phi_3(\lambda_i)}{\Phi_2(\lambda_i)}\right)^2}{\left(\frac{\Phi_1(\lambda_i) + \Phi_2(\lambda_i) + \Phi_3(\lambda_i)}{\Phi_1(\lambda_i) + \Phi_2(\lambda_i) - \Phi_3(\lambda_i)}\right)^2} k_1 \quad (1)$$

Этот эффект может быть определен экспериментально или рассчитан по известным соотношениям. Если приемлемая погрешность задана величиной k , то из (1) получаем условие пригодности измерения, накладываемое на сигналы $\Phi_1(\lambda_i)$, $\Phi_2(\lambda_i)$, $\Phi_3(\lambda_i)$:

$$\frac{\left(\frac{\Phi_1(\lambda_i) - \Phi_3(\lambda_i)}{\Phi_2(\lambda_i)}\right)^2}{\left(\frac{\Phi_1(\lambda_i) + \Phi_2(\lambda_i) - \Phi_3(\lambda_i)}{\Phi_1(\lambda_i) + \Phi_2(\lambda_i) + \Phi_3(\lambda_i)}\right)^2} < \frac{10^{-4} k^2}{k_1} \quad (2)$$

Критерий, определяющий минимальное расстояние между длинами волн λ_1 и λ_2 , может быть получен из условия доста-

точно малой оптической плотности линии на ее крыле. Оптическая плотность - есть произведение концентрации атомов толщины излучающего слоя δ и атомарного коэффициента поглощения χ_1 , зависимость которого от длины волны исследована экспериментально и может быть представлена в виде

$$\chi_1 = \chi_{1, \Delta \lambda} \Delta \lambda \phi \left(\frac{\Delta \lambda}{\Delta \lambda \phi} \right)^{-x},$$

где $\Delta \lambda$ - расстояние длины волны λ от центра спектральной линии;

$\chi_{1, \Delta \lambda} \phi$ - атомарный фойхтовский коэффициент поглощения на расстоянии $\Delta \lambda \phi$, где фойхтовский контур переходит в степенной с показателем степени ($-x$). Выражая концентрацию атомов через давление газовой смеси (ρ) и мольное процентное содержание щелочных атомов $u\%$, а также задавая максимальную допустимую величину оптической плотности на крыле $\chi(\lambda_2)$, получаем необходимое соотношение для выбора расстояния между λ_1 и λ_2 :

$$\left| \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\Delta \lambda \phi} \right| > \left[\frac{5,5 \cdot 10^{15}}{\chi(\lambda_2)} \frac{\rho}{T_{\min}} u\% \ell \chi_{1, \Delta \lambda} \phi \right]^{\frac{1}{x}}, \quad (3)$$

Здесь T_{\min} - приближенное значение минимально возможной температуры в МГД-генераторе, $^{\circ}\text{K}$.

Таким образом, при измерении с заранее заданной требуемой точностью температуры нестационарного рабочего тела МГД-генератора с произвольной щелочной добавкой и при наличии частиц длина волны λ_1 , на которой ведется измерение, должна быть выбрана в области резонансной линии щелочного металла, другая длина волны λ_2 должна отстоять от λ_1 на величину, определяемую неравенством (3), а пригодность каждой группы сигналов $\Phi_1(\lambda_i)$, $\Phi_2(\lambda_i)$, $\Phi_3(\lambda_i)$ для измерения температуры должна быть проверена с помощью соотношения (2). Если неравенство (2) не выполняется, соответствующая группа сигналов должна быть отброшена.

На чертеже изображена функциональная схема устройства для измерения температуры газа в МГД-генераторе, работающем на продуктах сгорания угля.

Устройство содержит основной источник сравнения 1, просвечивающий

плазму, и опорный 2, который позволяет следить за изменением чувствительности фотоэлектронного умножителя вследствие изменения внешних магнитных полей, нестабильности источника питания и утомляемости фотокатода. Питание источников сравнения осуществляется от стабилизированных блоков питания 3. Излучение от основного источника сравнения направляется с помощью линзы 4 через защитное стекло 5 на объект измерения температуры 6. При измерении температуры в МГД-генераторе используется квазипараллельный пучок света. При этом нить источника сравнения устанавливается в фокусе линзы 4. Линза 7 фокусирует измерение от плазмы на входную щель 8 монохроматора 9, используемого для выделения излучения в узком спектральном интервале. Излучение от опорного источника с помощью линзы 10 и призмы 11 направляется на кубпризму с полупрозрачной диагональю 12 и далее поступает на входную щель монохроматора. На выходе монохроматора установлен фотоэлектронный преобразователь 13. В данной схеме используется временное разделение световых потоков, которое обеспечивается модуляторами: основным 14 и вспомогательным 15. Синфазное вращение моторов модуляторов осуществляется специальным блоком 16. С выхода преобразователя 13 сигналы через эмиттерный повторитель 17 подаются в измерительный блок 18, где происходит преобразование электрических сигналов, а затем три сигнала, пропорциональных потоку излучения плазмы, источника сравнения и суммарному потоку излучения плазмы и лампы поступают на вход вычислительной машины (ЭВМ) 19. К выходу ЭВМ 19 подключен датчик 20,

установленный на монохроматоре и дающий сигнал, пропорциональный измеряемой длине волны λ_i .

Настройка монохроматора на разные участки спектра производится поворотом его диспергирующей системы мотором 21 от ЭВМ в соответствии введенной в нее программой через тиристорный блок 22. Результаты расчета температуры газа представляются на дисплей 23.

Основные условия опытов: $P=1$ атм; $T_{\min} = 2300^{\circ}\text{K}$; $T_{\max} = 3000^{\circ}\text{K}$; мольное содержание калия 1%; толщина излучателя $\ell = 20$ см.

В устройстве применяется фотоприемник. Экспериментально измеренный коэффициент дробного эффекта в использованной схеме нагружения фотоприемника определяется величиной $K_1 = 2$ мВ.

Измерение температуры велось в области резонансной линии натрия, $\lambda_1 = 5890^{\circ}\text{A} \approx 0,59$ мкм. Величина λ_2 определялась по соотношению (3). Содержание атомов натрия по отношению к содержанию атомов калия, как показывают специальные опыты с техническим поташом, составляет не более 0,05, поэтому $\gamma = 0,05\%$. Пользуясь известными данными, получаем $\Delta\lambda = 10^{\circ}\text{A}$, $\lambda_2 = 5860^{\circ}\text{A}$.

В соответствии с формулами для Фойхтовского контура находим $\chi_1 = 10^{\circ}\text{A} = 2 \cdot 10^{-17} \text{ см}^2$. Наконец, положив $\gamma(\lambda_2) \leq 0,1$, по соотношению (3) находим $|\lambda_1 - \lambda_2| \geq 21^{\circ}\text{A}$. Выбирают $\lambda_2 = 5860^{\circ}\text{A}$.

В табл. 1 и 2 приведены некоторые данные по измерениям на длинах волн λ_1 и λ_2 . В первых трех столбцах приведены сигналы $\Phi_1(\lambda_i)$, $\Phi_2(\lambda_i)$, $\Phi_3(\lambda_i)$. В четвертом — комбинация сигналов, входящая в левую часть неравенства (2),

(измерения на $\lambda_1 = 5890^{\circ}\text{A}$)

Таблица 1

№	$\Phi_1(\lambda_i)$	$\Phi_2(\lambda_i)$	$\Phi_3(\lambda_i)$	Φ	Пригодность $\leq 7,5$	$T_{\text{ф}}^{\circ}\text{K}$	$T_{\text{газа}}^{\circ}\text{K}$
1	4,6	6,5	8,0	1,5	+	2560	2600
2	4,0	15,3	16,0	2,7	+	2790	2820
3	4,6	6,5	10	15,7	-	-	-

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
4	4,0	-	9,5	7,9	-	-	-
5	4,0	6	8	3,7	+	2660	2740

$$\phi = \frac{\frac{(\phi_1(\lambda_i) - \phi_3(\lambda_i))^2}{\phi_2(\lambda_i)} \phi_2(\lambda_i) + \phi_1(\lambda_i) + \phi_3(\lambda_i)}{(\phi_1(\lambda_i) + \phi_2(\lambda_i) + \phi_3(\lambda_i))^2} b^{-1}$$

Таблица 2
(измерения на $\lambda_2 = 5860 \text{ \AA}$)

№	$\phi_1(\lambda_1)$	$\phi_2(\lambda_1)$	$\phi_3(\lambda_1)$	ϕ	Пригодность ≥ 30	Т частиц, $^{\circ}\text{К}$
1	3,2	0,9	3,5	19	+	2470
2	3,2	0,8	3,4	18	+	2440
3	3,2	1,0	3,5	19	+	2450
4	3,2	0,6	3,2	18	+	2370
5	3,2	1,0	3,2	6,4	+	2370

Требуемая погрешность измерения температуры газа составляет $K=1,5\%$, а измерения температуры частиц $- K=3\%$. Рассчитаем при λ_1 допустимую величину правой части неравенства (2). Она составляет 7,5 при λ_1 . Аналогично при λ_2 величина равна 30. Сопоставление с этими величинами значений четвертого столбца дает оценку пригодности измеренных сигналов для определения температуры газа с требуемой точностью.

В программу вычислительной машины включены оценка пригодности по соотношению (2), поэтому расчет температуры произведен во всех случаях, за исключением строк 3,4 таблицы 1, в которых группы сигналов на длине волны λ_1 не пригодны для определения температуры газа с требуемой точностью. В шестом столбце приведены температуры, рассчитанные по известной формуле обращенного метода обра- 55 щения

$$T = T_{\lambda} \left[1 - \frac{\lambda T_{\lambda}}{C_2} \ln \left(\frac{\phi_2(\lambda_1)}{\phi_1(\lambda_1) + \phi_2(\lambda_1) - \phi_3(\lambda_1)} \right) \right]^{-1}$$

где $T_{\lambda} = 2373^{\circ}\text{К}$;
 $C_2 = 1,4387 \cdot 10^{-2}$ м.град.
35 Затем вычислительная машина вводит поправку на отличие измеренной на длине волны λ_1 температуры $T_{\phi t}$ от температуры газа T_2 из-за влияния частиц на измерении на длине волны λ_2 . Известное соотношение для поправки введено в ЭВМ в следующем виде:

$$T_2 = T_{\phi t} \left[1 - \frac{\lambda_1 T_{\phi t}}{C_2} \ln (1 + \alpha) \right],$$

$$\alpha = \beta (1 - \gamma)$$

$$\beta = \frac{\ln \frac{\phi_1(\lambda_2)}{\phi_3(\lambda_2) - \phi_2(\lambda_2)}}{\ln \left[\frac{\phi_3(\lambda_2) - \phi_2(\lambda_2)}{\phi_3(\lambda_1) - \phi_2(\lambda_1)} \frac{\phi_1(\lambda_1)}{\phi_1(\lambda_2)} \right]},$$

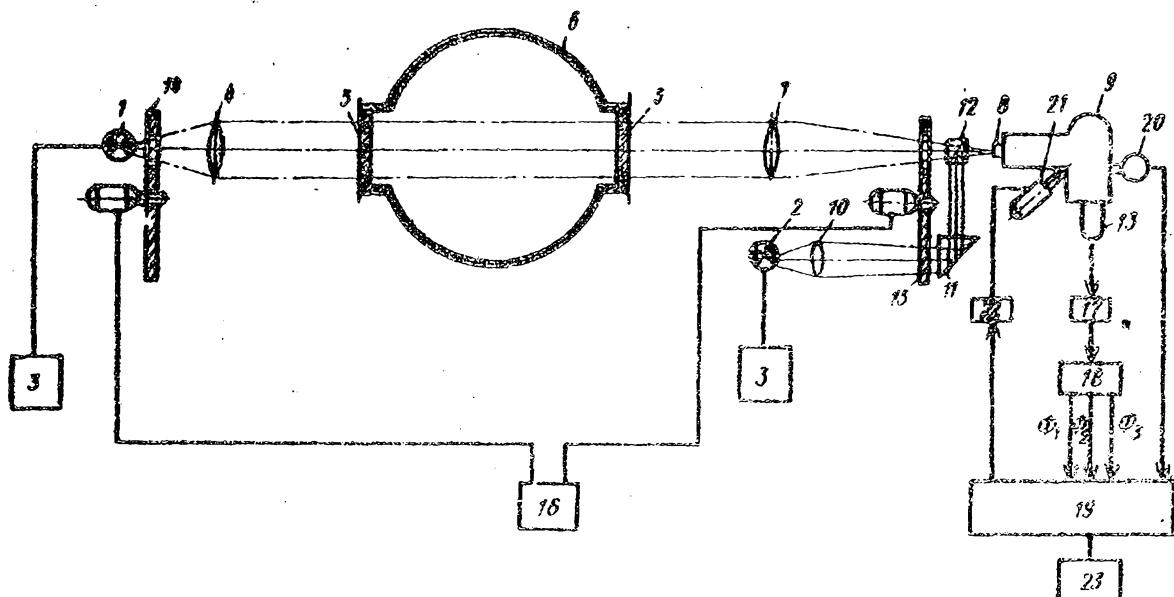
$$\gamma = \frac{\phi_2(\lambda_2)}{\phi_2(\lambda_1)} \frac{\phi_2(\lambda_1) + \phi_1(\lambda_1) - \phi_3(\lambda_1)}{\phi_2(\lambda_2) + \phi_2(\lambda_1) - \phi_3(\lambda_1)} \frac{\phi_1(\lambda_2)}{\phi_2(\lambda_1)}$$

Так как поправка обычно невелика, в расчете используются средние значе-

ния $\Phi_1(\lambda_1) = 3,2$ В; $\Phi_2(\lambda_2) = 0,86$ В, $\Phi_3(\lambda_3) = 3,6$ В. В седьмом столбце табл. 1 приведены окончательные значения температуры газа.

Использование способа определения температуры с заданной заранее точ-

ностью дает возможность надежно оптимизировать процесс работы сгорания, экономить топливо на МГД-электростанции, повысить эффективность преобразования тепловой энергии в электрическую.



Составитель Н. Анальева

Редактор П. Горькова

Техрел С. Мигунова

Корректор М. Розман

Заказ 1686/3

Тираж 897

Подписьное

ВНИИПИ Государственного комитета СССР

по делам изобретений и открытий

113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Филиал ППП "Патент", г. Ужгород, ул. Проектная, 4