

**ВИЗУАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА МАРКИ ГК**

**Козлов Владимир Константинович**

д.ф.-м.н., профессор, профессор

**Валиуллина Дилия Мансуровна**

к.т.н., доцент, доцент

**Ильясова Юлия Камильевна**

старший преподаватель

ФГБОУ ВО «Казанский государственный  
энергетический университет»

**Аннотация:** От состояния жидкого диэлектрика во многом зависит работоспособность маслonaполненного оборудования, в связи с этим необходимы своевременный контроль и диагностика состояния трансформаторного масла. В данной работе представлены результаты исследования визуальных характеристик трансформаторного масла марки ГК. Проанализированы фотографии и спектры данного трансформаторного масла, даны интерпретации наблюдаемых явлений.

**Ключевые слова:** трансформаторное масло, спектр излучения, люминесценция, Релеевское излучение, ароматические соединения.

**VISUAL CHARACTERISTICS  
OF THE TRANSFORMER GC BRAND OILS**

**Kozlov Vladimir Konstantinovich**

**Valiullina Diliya Mansurovna**

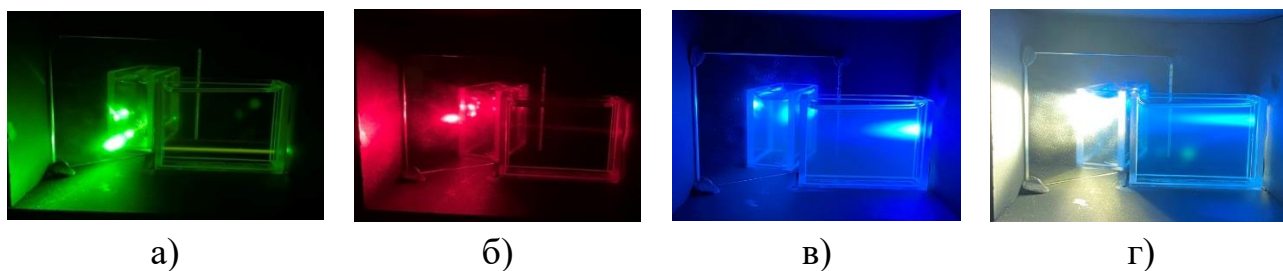
**Ilyasova Yulia Kamilyevna**

**Abstract:** The operability of the oil-filled equipment largely depends on the state of the liquid dielectric, in this regard, timely monitoring and diagnostics of the transformer oil condition are necessary. This paper presents the results of a study of the visual characteristics of transformer oil of the GC brand. Photographs and spectra of this transformer oil are analyzed, interpretations of the observed phenomena are given.

**Key words:** transformer oil, radiation spectrum, luminescence, Rayleigh radiation, aromatic compounds.

Определение характеристик трансформаторного масла и их изменений в процессе эксплуатации возможно проводить визуальным способом согласно методике, предложенной в [1, с. 109]. Для корректной расшифровки фотографий масел при освещении их разными источниками света нами проведено одновременное фотографирование образцов масел с параллельным измерением спектров излучения различных участков масел.

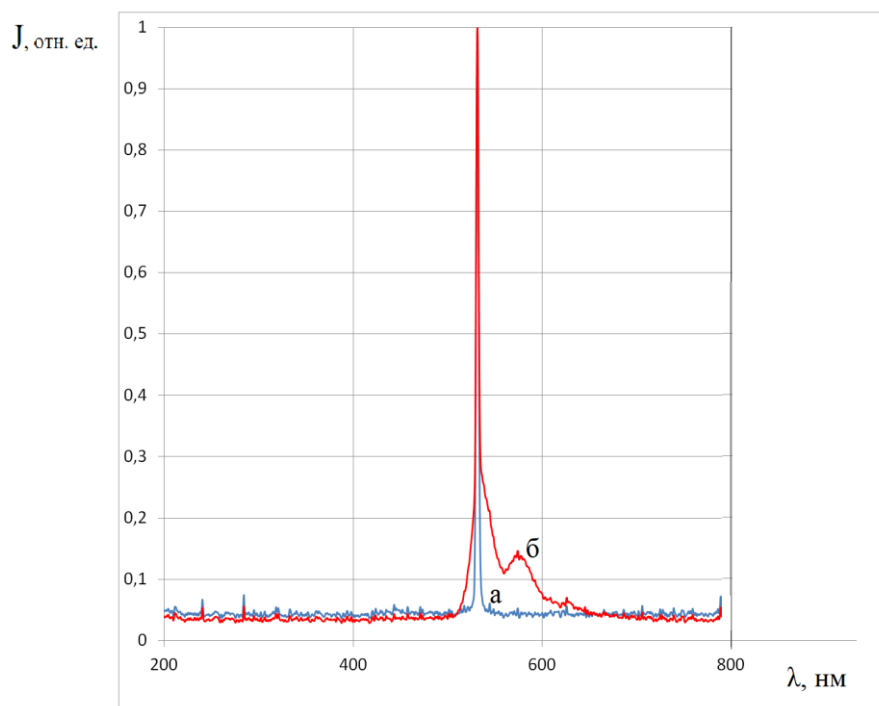
На рис. 1 приведены фотографии масел ГК в кювете размером 50 мм при облучении ее зеленым лазером (рис. 1 а) с длиной волны 531 нм, красным лазером (рис. 1 б) с длиной волны 654 нм, источником синего цвета (рис. 1 в) с длиной волны с максимумом 400 нм и полушириной линии  $\sim 25$  нм и источником белого света (рис. 1 г) с линией накачки на длине волны 447 нм. Облучение производилось с правой стороны кюветы, прошедшее излучение регистрировалось с помощью зеркала находящегося после кюветы под углом  $45^\circ$  к направлению распространения облучаемого излучения.



**Рис. 1. Фотографии кюветы с маслом ГК при освещении их:**

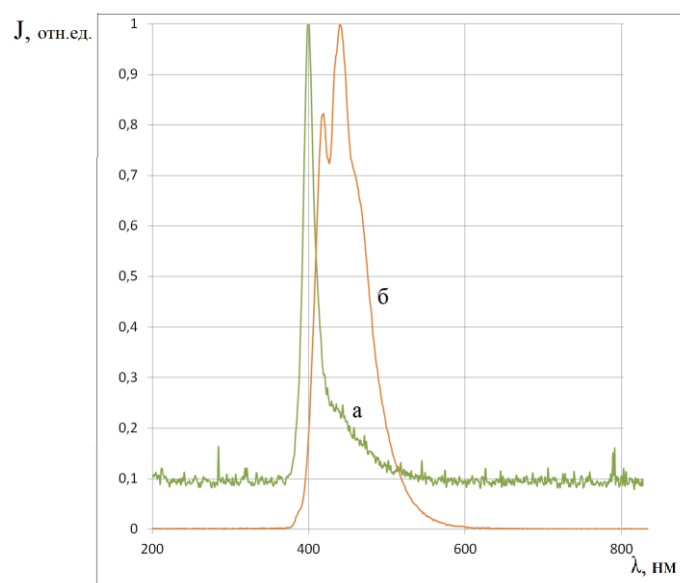
- а – излучением зеленого лазера;**
- б – излучением красного лазера;**
- в – излучением источника синего света;**
- г – излучением источника белого света**

На рис. 2 приведены спектр свечения масла в начале кюветы и спектр источника зеленого излучения, которым облучается масло.



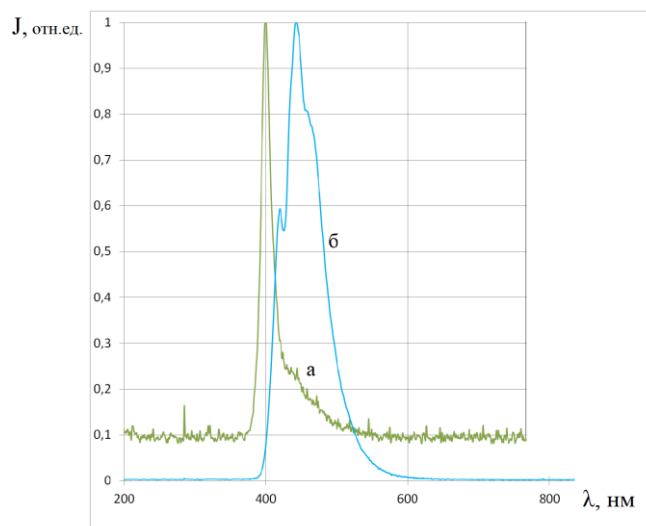
**Рис. 2. Спектр зеленого лазера (а) и спектр свечения масла (б) при этом освещении**

На рис. 3 приведены спектр излучения масла марки ГК при облучении источником синего света и зарегистрированный от участка масла в начале кюветы.



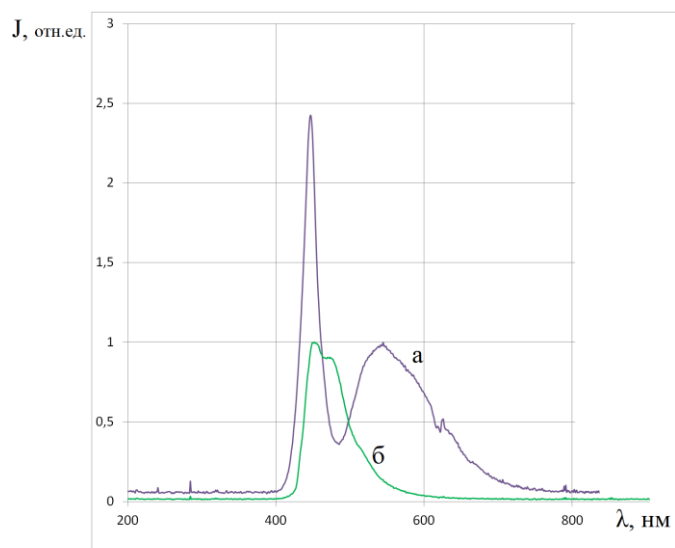
**Рис. 3. Спектр синего источника света (а) и спектр свечения масла (б) при этом облучении, зарегистрированный в начале кюветы**

На рис. 4 приведены спектр излучения масла марки ГК при облучении источником синего цвета и спектр, зарегистрированный от участка масла в середине кюветы.



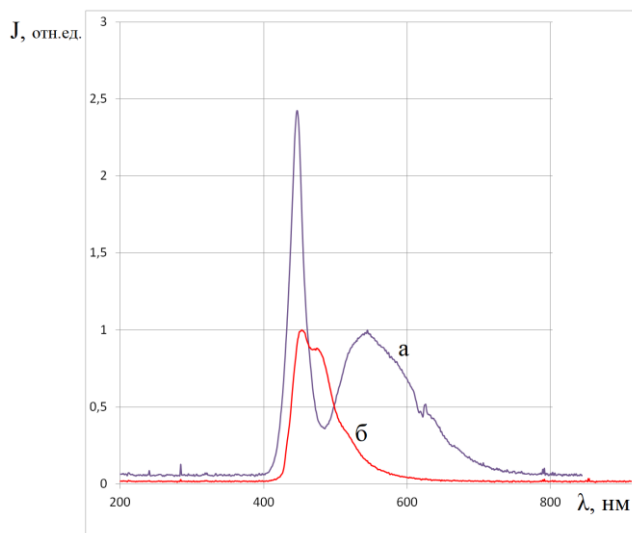
**Рис. 4. Спектр синего источника света (а) и спектр свечения масла (б) при этом облучении, зарегистрированный в середине кюветы**

На рис. 5 приведены спектр излучения масла марки ГК при облучении источником белого светодиода и спектр, зарегистрированный от участка масла в начале кюветы.



**Рис. 5. Спектр белого светодиода (а) и спектр свечения масла (б) при этом облучении, зарегистрированный в начале кюветы**

На рис. 6 приведен спектр излучения масла марки ГК при облучении источником белого светодиода и спектр, зарегистрированный от участка масла в середине кюветы.



**Рис. 6. Спектр белого светодиода (а) и спектр свечения масла (б) при этом облучении, зарегистрированный от участка масла в середине кюветы**

Согласно общим соображениям, изложенным в [2, с. 43], в перпендикулярном к облучающему излучению направлении наблюдается рассеянное на частицах масла Релеевское излучение и люминесценция молекул ароматических соединений в составе масла. В прошедшем излучении на зеркале наблюдается спектр источника облучения, ослабленный за счет Релеевского рассеяния на частицах масла и молекулярного поглощения, обусловленного молекулами, входящими в состав масла.

Анализ фотографий и спектров, приведенных выше, позволяет дать однозначную интерпретацию конкретных вкладов в наблюдаемые явления.

Анализ фото рис. 1 (а) и спектров рис. 2 показывает, что в масле ГК наблюдается слабое рассеяние зеленого света и небольшая люминесценция (цвет излучения зеленовато-желтый) причем люминесценция, согласно положению спектра рис. 2 (б) в шкале длин волн обусловлена ароматическими молекулами сложного строения с количеством бензольных колец в молекуле больше четырех.

При облучении красным светом, отсутствие излучения на фото рис. 1 (б) подтверждает тот факт, что более сложных молекул, чем вышеописанные, в масле ГК нет, а значит и нет люминесценции, возбуждаемой излучением

красного лазера, а также отсутствуют частицы больших размеров сравнимых с длиной волны 654 нм, которыми обусловлено рассеяние возбуждающего излучения.

Анализ фото рис. 1 (в) и спектров рис. 3 и рис. 4 дает основание для интерпретации излучения на фото, как обусловленного люминесценцией ароматических молекул, возбужденных синим излучением, а расположения спектров в шкале длин волн позволяет заключить, что это молекулы, имеющие в своем составе три - четыре бензольных кольца. Наличие луча, как в начале, так и в середине кюветы, свидетельствует о незначительной концентрации этих молекул не способных на таких толщинах полностью поглотить возбуждающее излучение.

Анализ фото рис. 1 (г) и спектров рис. 5 и 6 показывает, что в масле ГК при освещении белым светом присутствует излучение люминесценции обусловленного ароматическими соединениями, несколько более сложными, чем в случае люминесценции при возбуждении синим источником. При этом длина луча рассеяния рис. 1 (г) больше чем при облучении синим источником, что обусловлено еще более меньшими концентрациями подобных молекул, но спектре видна рассеянная линия возбуждения на длине волны 447 нм.

Рассеяние в более длинноволновой области (больше 600 нм) отсутствует что является подтверждением отсутствия больших частиц в масле ГК (~ 600 нм), которое засвидетельствовано отсутствием рассеяния красного излучения.

Таким образом, становится понятна природа визуальных характеристик трансформаторного масла марки ГК при различных источниках освещения.

### **Список литературы**

1. Козлов В. К., Валиуллина Д. М., Енюшин В. Н., Гиниатуллин Р. А. Диагностика состояния трансформаторного масла по его координатам цветности // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2022. – Т. 78. – № 3. – С. 109-115.
2. Козлов В. К., Валиуллина Д. М., Туранова О. А., Туранов А. Н. Механизмы деградации трансформаторных масел // Электрические станции. – 2022. – № 2(1087). – С. 41-44.

© В.К. Козлов, Д.М Валиуллина, Ю.К. Ильясова, 2023