

Ж.Б. Ергожина<sup>1,2</sup>, А.Б. Касымов<sup>1</sup>, Г.Н. Байтанатова<sup>2</sup>, Г.А. Баймуханова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НАО "Университет имени Шакарима города Семей", Семей, Казахстан

<sup>2</sup>КГП на ПХВ "Павлодарский областной онкологический диспансер", Павлодар, Казахстан  
(E-mail: zhbeisekeevna@mail.ru)

## Контроль качества планов с модуляцией интенсивности (volumetric modulated arc therapy - vmat) в лучевой терапии на линейном ускорителе vitalbeam

**Аннотация.** Показана значимость методов медицинской физики в современной лучевой терапии. Рассмотрены виды облучения, используемые в лучевой терапии. На каждом этапе необходимо соблюдение высокой точности всех процедур. Одним из значительных этапов является планирование облучения, где для точности облучения пациента проводится контроль качества плана.

Представлен процесс контроля качества планов облучения в лучевой терапии с модуляцией интенсивности (Volumetric Modulated Arc Therapy - VMAT) на линейном ускорителе VitalBeam. Рассмотрен метод контроля качества на портальном детекторе (Electronic Portal Imaging Device, EPID) плана лучевой терапии с модуляцией интенсивности (Volumetric Modulated Arc Therapy - VMAT). Сравнение распределения дозы, то есть наложение дозы друг на друга контуров распределения. Представлены изодозные линии и гистограмма доза-объем для плана с модуляцией интенсивности и описаны основные размерные геометрии, используемые в клинической практике для дозиметрического обследования планов облучения.

Определен гамма-анализ плана с модуляцией интенсивности (VMAT) и критерии гамма-анализа. А также представлено покрытие физического объема облучения. Оценен контроль качества дозиметрических распределений плана лечения с модуляцией интенсивности (VMAT) на линейном ускорителе VitalBeam.

**Ключевые слова:** медицинская физика, лучевая терапия, линейный ускоритель VitalBeam, Volumetric Modulated Arc Therapy - VMAT, контроль качества, гамма-анализ.

DOI: [doi.org/10.32523/2616-6836-2022-141-4-41-47](https://doi.org/10.32523/2616-6836-2022-141-4-41-47)

### 1. Введение

В лучевой терапии для проведения дозиметрии, планирования лечения, контроля качества, выбора оборудования, ввода в эксплуатацию оборудования, гарантии качества, калибровки и радиационной безопасности медицинская физика играют важную роль.

В настоящее время в Республике Казахстан широко используется один из передовых методов лучевой терапии - ротационное объемно-модулированное облучение (Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT). Данный вид облучения реализуется с применением линейного ускорителя. Данный метод представляет собой движение головки аппарата во время процедуры, которая ротационно крутится вокруг пациента с использованием одной или нескольких арок.

С помощью этого метода (Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT) сокращается время лечения, обеспечивает высококонформное распределение дозы в облучаемой мишени [1,2]. Данный современный метод лучевой терапии требует высококачественного, комплексного и точного контроля качества. Для точного контроля качества в лучевой терапии используются многочисленные способы.

## 2. Методы

На линейном ускорителе для проверки планов лечения используется высокоточные способы контроля качества, такие как, проверка плана с использованием полупроводникового детектора, матрицы детекторов, пленок в плоскости и ионизационной камеры [3].

На линейном ускорителе VitalBeam широко применяется контроль качества плана с использованием электронного устройства портальной дозиметрии (Electronic Portal Imaging Device, EPID).

Перед облучением пациента необходимо проверить план лечения в лучевой терапии. Для этого применяется контроль качества плана лечения портальной дозиметрией (Electronic Portal Imaging Device, EPID).

Принцип работы заключается в том, что необходимо сопоставить дозовое распределение и выявить несоответствия. Самым действенным способом сравнения является сопоставление полученных кривых друг на друга. Данный анализ является быстрым и качественным методом. В данной статье представлен используемый в лучевой терапии метод контроля качества – портальная дозиметрия EPID.

С помощью портальной дозиметрии для контроля качества индивидуальных планов использован гамма-анализ, где сравниваются полученные кривые.

Сущность метода: согласование полученных кривых между собой в должной степени и анализ совпадений полученных кривых друг с другом. Если полученные кривые не соответствуют, то они будут разделены непосредственно по значению. Эти значения зависят от определённых факторов. Данные факторы представляют собой разное численное значение кривых и разность градиента доз.

Если кривые имеют крутой градиент, то сместятся незначительно. Даже если численное значение кривой велико. Если сравнительная кривая дает резкий спад дозы, то численное различие имеет наименьшую информацию. Относительно друг друга при значительном смещении должна быть высокая разность в полученных кривых. Если измеренных значениях небольшие различия, то даже они сильно сместят полученные кривые в области слабого градиента [4,5]. Места пересечения или наложения кривых являются единственным местом, где полученные кривые предоставляют точную информацию. Сравнительные кривые имеющие одинаковые распределения совпадают точно в том же месте.

## 3. Результаты и обсуждение

На рисунке 1 представлен (VMAT) план с модуляцией интенсивности в лучевой терапии на линейном ускорителе VitalBeam.

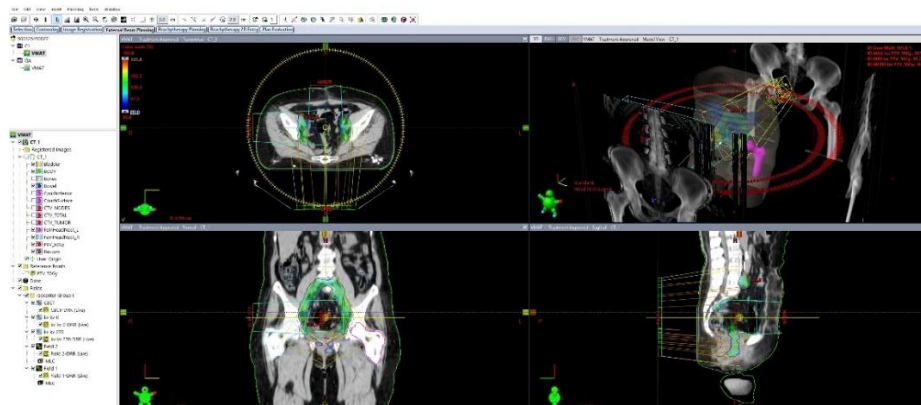


Рисунок 1. Изодозные линии плана лечения с модуляцией интенсивности (VMAT)

Также на рисунке 2 показан план лечения с модуляцией интенсивности (VMAT) с видом 3D,

где можно увидеть изодозное распределение в трехмерном изображении.



Рисунок 2. План лечения с модуляцией интенсивности (VMAT) с видом 3D

На рисунке 3 получена гистограмма доза-объем DVH плана лечения с модуляцией интенсивности (VMAT). В гистограмме доза-объем можно прочесть покрытие PTV и допустимые дозы на критические органы.

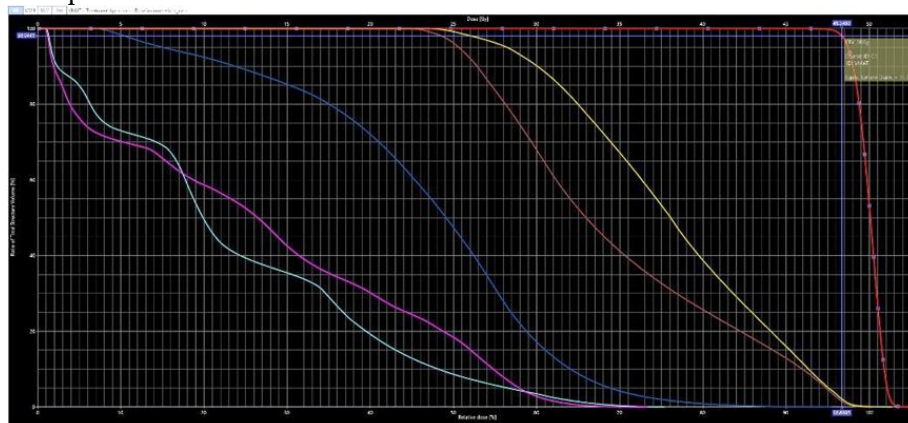


Рисунок 3. Гистограмма доза-объем DVH плана лечения с модуляцией интенсивности (VMAT)

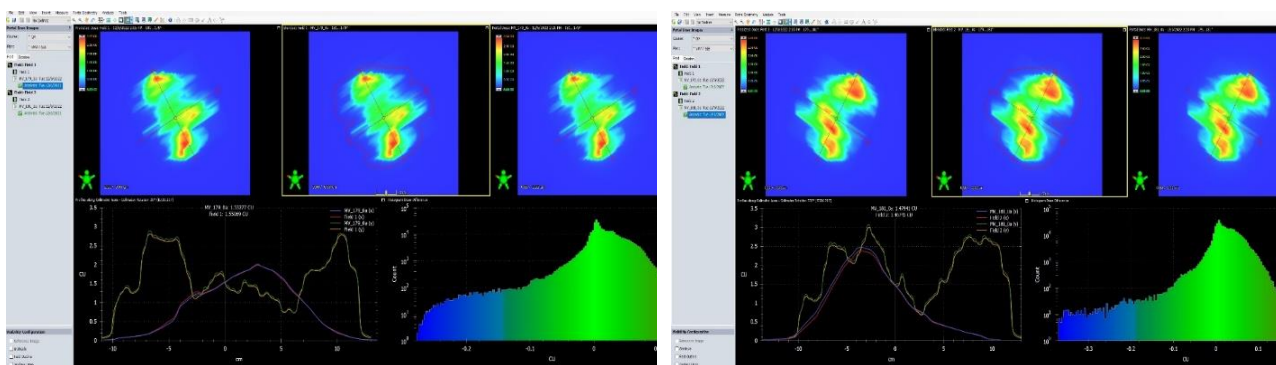
Одним из достоинств данного метода контроля качества является возможность получения изображения за считанные секунды. С системой управления дистанционного компьютера на линейном ускорителе получение изображения могут выполняться удаленно. Еще одной важной особенностью является то, что изображения представлены в цифровой форме, которое позволяет применять программные средства для извлечения информации, имеющей отношение к проверке лечения.

На вышеуказанном рисунке 3 показано совпадение кривых. Для системы планирования и программы реконструкция различия вычисленных алгоритмов дозы дают небольшие отклонения. При работе ускорителя и EPID-панели найденные отклонения аппаратных ошибок не являются значимыми.

На рисунке 4 изображен гамма-анализ плана лечения с модуляцией интенсивности (VMAT).

С помощью полученного анализа кривых определяется критерий дальнейшего использования лечебного плана. В случае, когда охват объема предполагаемого облучения с гамма  $\leq 1$  имеет значение не менее 95 % от максимального, то этот план считается допустимым.

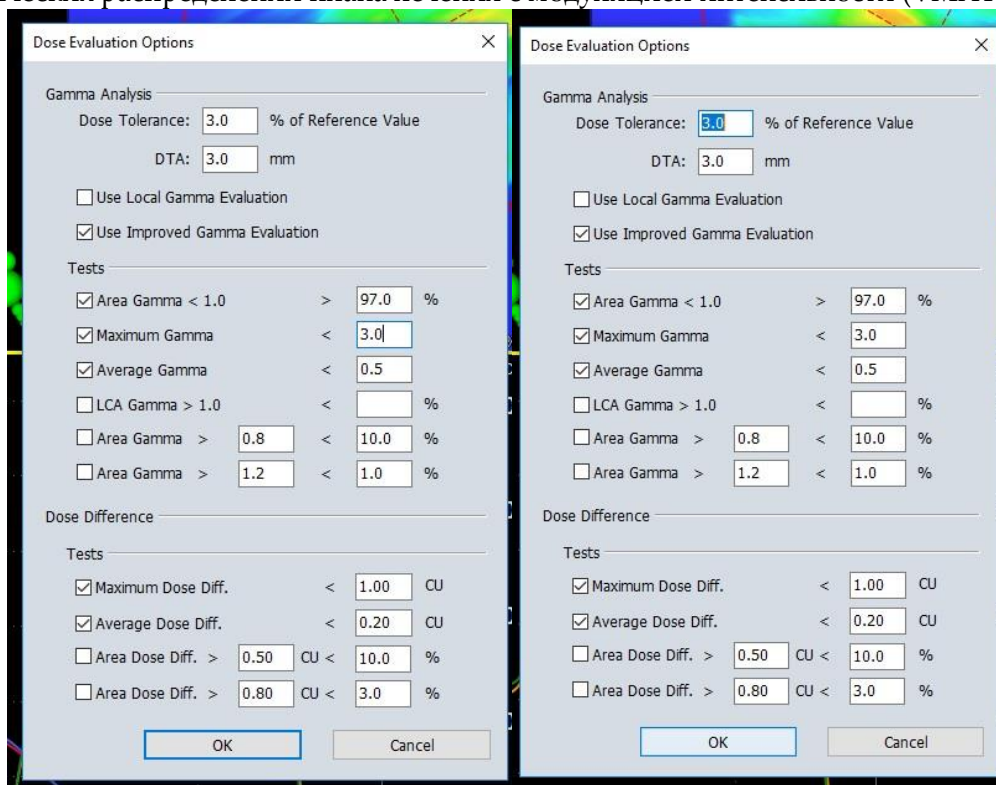
Гамма-анализ является быстрым, точным и эффективным методом контроля качества плана, которое позволяет качественно оценить данные, то есть полученные кривые отмеренные с помощью EPID-панели средствами портальной дозиметрии [6,7,8]



а) первое поле, б) второе поле  
**Рисунок 4. Гамма-анализ плана лечения с модуляцией интенсивности (VMAT)**

В данном плане с модуляцией интенсивности (VMAT) покрытие физического объема облучения составляет 97 %, гамма-индекс  $\leq 1$ .

Показанные на рисунке 5 параметры гаммасред., гамматах позволяют оценить качество дозиметрических распределений плана лечения с модуляцией интенсивности (VMAT).



а) первое поле б) второе поле  
**Рисунок 5. Гамма-анализ плана лечения с модуляцией интенсивности (VMAT)**

#### 4. Выводы

Анализ полученных результатов, произведенных во время контроля качества лечебных планов на линейном ускорителе VitalBeam, выполненных с помощью портальной дозиметрии подтверждают эффективность данной методики. Анализ установленных условий позволяет отвергнуть ошибочные лечебные планы.

С использованием данного метода можно регулировать отпускаемую источником ионизирующего излучения абсолютную дозу. Исходя из данных, показанных в работе можно утверждать, что данный метод имеет преимущества при сопоставлении его с другими методами

проверки планов. Отличительной особенностью гамма-анализа в данном случае является получение результатов за считанные секунды, дистанционное управление, получение цифровых изображений и кривых.

### Список литературы

1. Slotman B. J., Solberg T. D., Verellen D. Extracranial Stereotactic Radiotherapy and Radiosurgery. N. Y., 2006.
2. Kjaer-Kristoffersen F., Ohlhues L., Medin J., Korreman S. Rapid Arc Volumetric Modulated Therapy Planning for Prostate Cancer Patients // Acta Oncol. –2009. –Vol. 48. –P. 227–232.
3. Наркевич Б.Я. д.физ.-мат. наук, к.т.н Т.Г.Патнер Перевод с английского под общей редакцией НИЯУ «МИФИ» Контроль качества медицинских линейных ускорителей, – Москва. – 2018.– С.141.
4. Тарутин, И.Г. Радиационная защита при медицинском облучении // Приборы и методы измерений.- М.; Высшая школа. - 2005.- 335 с.
5. Chun M. Effect of dose grid resolution on the results of patient-specific quality assurance for intensity-modulated radiation therapy and volumetric modulated arc therapy // Int. J. Radiat. Res. – 2020.– Vol. 18, № 3. – P.521–530.
6. Zh. Yergozhina, A. Kassymov. Quality control performance analysis with the machine performance check software to check the VitalBeam linear accelerator// Вестник университета Шакарима. Технические науки. – No 4(4) 2021. –С.31.
7. Klein EE, Hanley J, Bayouth J, Yin F-F, Simon W, Dresser S, et al. Task Group 142 report : quality assurance of medical accelerators // Med Phys. Eng . – 2009. – N 36:4197. – P. 212.
8. International Electrotechnical Commission Publication 977. Medical electron accelerators in the range 1 MeV-50 MeV – guidelines for functional performance characteristics. 1989.

**Ж.Б. Ергожина<sup>1,2</sup>, А.Б. Касымов<sup>1</sup>, Г.Н. Байтанатова<sup>2</sup>, Г.А. Баймуханова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>“Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті” КеАҚ, Семей, Қазақстан

<sup>2</sup>ШЖҚ “Павлодар облыстық онкологиялық диспансері” коммуналдық мемлекеттік кәсіпорны, Павлодар, Қазақстан

### **Vitalbeam сызықтық үдеткішінде сәулелік терапиядағы көлемдік модуляцияланған доғалық терапияның (vmat) сапасын бақылау**

**Аңдатпа.** Заманауи сәулелік терапияда медициналық физика әдістерінің маңыздылығы көрсетілген. Сәулелік терапияда қолданылатын сәулелену түрлері қарастырылады. Әрбір кезеңде барлық процедуралардың жоғары дәлдігін сақтау қажет. Маңызды кезеңдердің бірі емдеуді жоспарлау болып табылады, мұнда науқасты емдеудің дәлдігін қамтамасыз ету үшін жоспардың сапасын бақылау жүзеге асырылады.

Vitalbeam сызықтық үдеткішінде қарқындылығы модуляцияланған (Volumetric Modulated Arc Therapy - VMAT) сәулелік терапия кезінде сәулелену жоспарларының сапасын бақылау процесі ұсынылған. Қарқындылығы модуляцияланған сәулелік терапия жоспарының (Volumetric Modulated Arc Therapy - VMAT) порталдық детекторында (электрондық порталдық Бейнелеу құрылғысы, EPID) сапаны бақылаудың кеңінен қолданылатын әдісі қарастырылған. Дозаны бөлуді салыстыру, яғни дозаны бөлу тізбектерінің қабаттасуы. Қарқындылықты модуляциялау жоспары үшін изодоздық сызықтар мен доза-көлемдік гистограмма ұсынылған, сонымен қатар емдеу жоспарларын дозиметриялық зерттеу үшін клиникалық тәжірибеде қолданылатын негізгі өлшемдік геометриялар сипатталған.

Қарқындылықты модуляциялайтын гамма-талдау жоспары (VMAT) және гамма-талдау

критерийлері анықталды. Соңдай-ақ экспозицияның нақты көлемін қамту. VitalBeam сызықтық үдеткішінде қарқындылықты модуляциялау (VMAT) емдеу жоспарының дозиметриялық таралу сапасын бақылауды бағаланды.

**Түйін сөздер:** сәулелік терапия, VitalBeam сызықтық үдеткіші, Volumetric Modulated Arc терапиясы - VMAT, сапаны бақылау, тексеру, EPID, гамма-анализ.

**Zh. Yergozhina<sup>1,2</sup>, A. Kassymov<sup>1</sup>, G. Baitanatova<sup>2</sup>, G. Baimukhanova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>"Shakarim University of Semey" NP JSC, Semey, Kazakhstan

<sup>2</sup>Municipal state enterprise on the right of economic management "Pavlodar regional oncological dispensary", Pavlodar, Kazakhstan

## **Quality control of intensity-modulated plans (volumetric modulated arc therapy - vmat) in radiation therapy on the vitalbeam linear accelerator**

**Abstract.** The importance of medical physics methods in modern radiation therapy is shown. The types of irradiation used in radiation therapy are considered. At each stage, it is necessary to maintain high accuracy of all procedures. One of the significant stages is the treatment planning, where the quality control of the plan is carried out to ensure the accuracy of the treatment of the patient.

The process of quality control of radiation plans in radiation therapy with intensity modulation (Volumetric Modulated Arc Therapy - VMAT) on the VitalBeam linear accelerator is presented. The widely used method of quality control on the portal detector (Electronic Portal Imaging Device, EPID) of the radiation therapy plan with intensity modulation (Volumetric Modulated Arc Therapy - VMAT) is considered. Comparison of dose distribution that is the overlapping of dose distribution contours. Isodose lines and a dose-volume histogram for a plan with intensity modulation are presented and the main dimensional geometries used in clinical practice for dosimetric examination of treatment plans are described.

Intensity modulated plan gamma analysis (VMAT) and gamma analysis criteria are defined. As well as the coverage of the physical volume of exposure. Quality control of dosimetric distributions of the intensity modulated treatment plan (VMAT) on the VitalBeam linear accelerator was assessed.

**Keywords:** radiation therapy, linear accelerator VitalBeam, Volumetric Modulated Arc Therapy - VMAT, QA, verification, Electronic Portal Imaging Device, gamma analysis.

### **References**

1. Slotman B. J., Solberg T. D., Verellen D. Extracranial Stereotactic Radiotherapy and Radiosurgery. N. Y., 2006.
2. Kjaer-Kristoffersen F., Ohlhues L., Medin J., Korreman S. Rapid Arc Volumetric Modulated Therapy Planning for Prostate Cancer Patients // Acta Oncol. –2009. –Vol. 48. –R. 227–232.
3. Narkevich B.Ya. d.fiz.-mat. nauk, k.t.n T.G.Ratner Perevod s angliyskogo pod obshchey redaktsiey NIYaU «MIFI» Kontrol' kachestva meditsinskikh lineynykh uskoriteley, – Moskva. – 2018.– S.141.
4. Tarutin, I.G. Radiatsionnaya zashchita pri meditsinskom obluchenii // Pribory i metody izmereniy.- M.; Vysheyschaya shkola. - 2005.- 335 s.
5. Chun M. Effect of dose grid resolution on the results of patient-specific quality assurance for intensity-modulated radiation therapy and volumetric modulated arc therapy // Int. J. Radiat. Res. – 2020.– Vol. 18, № 3. – P.521–530.
6. Zh. Yergozhina, A. Kassymov. Quality control performance analysis with the machine performance check software to check the VitalBeam linear accelerator// Vestnik universiteta Shakarima. Tekhnicheskie nauki. – No 4(4) 2021. –S.31.

7. Klein EE, Hanley J, Bayouth J, Yin F-F, Simon W, Dresser S, et al. Task Group 142 report : quality assurance of medical accelerators // Med Phys. Eng . – 2009. – N 36:4197. – P. 212.

8. International Electrotechnical Commission Publication 977. Medical electron accelerators in the range 1 MeV-50 MeV – guidelines for functional performance characteristics. 1989.

**Сведения об авторах:**

**Ергожина Ж.Б.** – магистрант 2 курса кафедры технической физики и теплоэнергетики, НАО “Университет имени Шакарима города Семей”, ул. Глинки, Семей, Казахстан; медицинский физик, КПП на ПХВ “Павлодарский областной онкологический диспансер”, ул.Российская, Павлодар, Казахстан.

**Касымов А.Б.** – PhD, и.о. ассоциированного профессора кафедры технической физика и теплоэнергетика, НАО "Университет имени Шакарима города Семей", ул.Глинки, 20А, Семей, Казахстан.

**Байтанатова Г.Н.** – медицинский физик, КПП на ПХВ “Павлодарский областной онкологический диспансер”, ул.Российская, Павлодар, Казахстан.

**Баймуханова Г.А.** – магистр физики по направлению медицинская физика; медицинский физик, КПП на ПХВ “Павлодарский областной онкологический диспансер”, ул.Российская, Павлодар, Казахстан.

**Ергожина Ж.Б.** – техникалық физика және жылуэнергетика кафедрасының 2 курс магистранты, “Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті” КеАҚ, Глинки к., Семей, Қазақстан; медициналық физик, ШЖҚ “Павлодар облыстық онкологиялық диспансері” коммуналдық мемлекеттік кәсіпорны, Российская к., Павлодар, Қазақстан.

**Касымов А.Б.** – PhD, техникалық физика және жылуэнергетика кафедрасының қауымдарстырылған профессор м.а., "Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті", Глинки 20А көш., Семей, Қазақстан.

**Байтанатова Г.Н.** – медициналық физик, ШЖҚ “Павлодар облыстық онкологиялық диспансері” коммуналдық мемлекеттік кәсіпорны, Российская к., Павлодар, Қазақстан.

**Баймуханова Г.А.** – медициналық физика бағыты бойынша физика магистрі; медициналық физик, ШЖҚ “Павлодар облыстық онкологиялық диспансері” коммуналдық мемлекеттік кәсіпорны, Российская к., Павлодар, Қазақстан.

**Zh.Yergozhina** – 2nd year master's student of the department of technical physics and thermal Power Engineering, “Shakarim University of Semey” NP JSC, Glinka 20A street, Semey, Kazakhstan.; medical physicist, Municipal state enterprise on the right of economic management "Pavlodar regional oncological dispensary", Rossiyskaya street, Pavlodar, Kazakhstan.

**A. Kassymov** – PhD, acting associate professor of the department of technical physics and heat power engineering, Glinka 20A street, Semey, Kazakhstan.

**G. Baitanatova** – medical physicist, Municipal state enterprise on the right of economic management "Pavlodar regional oncological dispensary", Rossiyskaya street, Pavlodar, Kazakhstan.

**G. Baimukhanova** – Master of Physics in Medical Physics, medical physicist, Municipal state enterprise on the right of economic management "Pavlodar regional oncological dispensary", Rossiyskaya street, Pavlodar, Kazakhstan.