



МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ГАЗОЖИДКОГО СЛОЯ В БАРБОТАЖНОМ АППАРАТЕ

Исмойилов Х.Б.

Бухорарский инженерно-технологический институт
<https://doi.org/10.5281/zenodo.7302787>

Аннотация: В статье представлены математические модели процесса дезодорации хлопкового масла, с помощью компьютерной модели изучено изменение гидравлического сопротивления цепной насадки в жидкой и паровой фазах.

Ключевые слова: процесс дезодорации, математическая модель, компьютерная модель, цепная насадка, гидравлическое сопротивление.

Mathematical models of the process of deodorization of cottonseed oil are presented in the article, the change of hydraulic resistance of the chain nozzle in the liquid and vapor phase is studied with the help of a computer model.

Keywords: deodorization process, mathematical model, computer model, chain nozzle, hydraulic resistance.

В настоящее время современная пищевая технология, работающая при высоких температурах и давлениях в многофазных системах с большими скоростями, характеризуется их нелинейностью, наличием множества переменных параметров, определяющих протекание процессов, внутренние связи между переменными и их взаимными влиянием очень сложное.

Кроме того, на процесс влияют внешние случайные возмущения, которые не учитываются при расчете процессов и устройств химических и пищевых производств. В результате объем данных, подлежащих обработке в расчетах, достаточно велик, и нам приходится уменьшать или корректировать этот объем, ограничивать количество вариантов, чтобы оставить менее эффективные данные. Это достигается изучением процесса в модели, пониманием событий процесса через упрощенные «эквиваленты», отражающие желаемые направления[2].

С помощью математического моделирования любой процесс обмена веществ можно описать как большую систему, состоящую из ряда подсистем, таких как баланс, массоперенос, гидродинамика, теплообмен, массо-энергетический баланс. При дезодорации за счет испарения из жидкой композиции легколетучих компонентов ее количество в жидкой фазе уменьшается, а в паровой фазе увеличивается. В состав неиспаряющейся жидкости входит в основном труднолетучий компонент – масло, которое кипит при высокой температуре. Для снижения температуры кипения масла в процессе, учитывая нерастворимость компонентов смеси в воде, в ее состав в качестве дополнительного компонента вводят высокотемпературный водяной пар.

Поток жидкой и паровой фаз в колонне в противоположных направлениях позволяет образовывать множество квазиаппаратов. Каждый квазиаппарат состоит из металлических цепных сопел, жидкой и паровой фаз. Сопла из металлических цепей приводят к значительному сокращению времени процесса за счет интенсивного перемешивания с открытым водяным паром, подаваемым снизу аппарата [3].

Общая компьютерная модель процесса дезодорации масла в пакете MatLab представлена ниже:

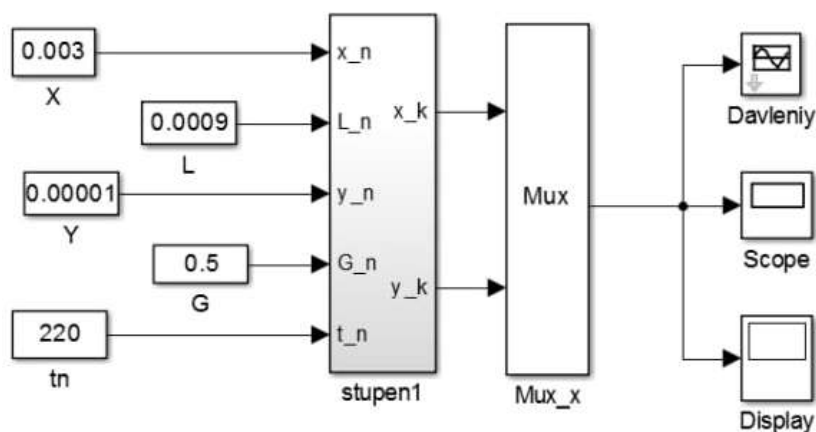


Рис.1. Общая компьютерная модель процесса дезодорации масла.

Компьютерная модель квазиаппаратных процессов второй очереди установки дезодорации шеи:

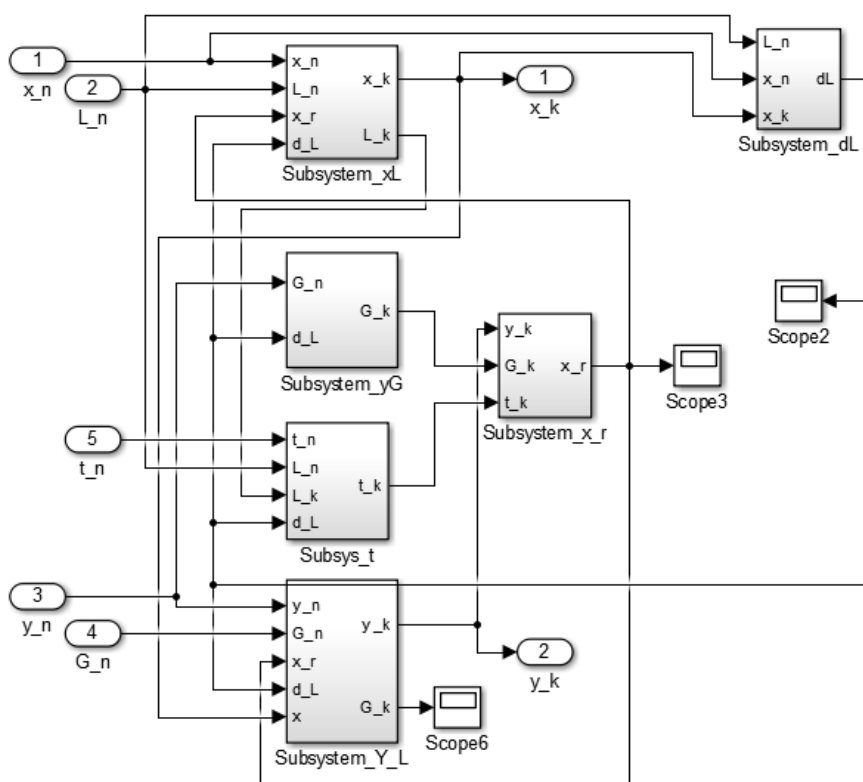


Рис.2. Компьютерная модель квазиаппаратных процессов второй очереди установки дезодорации шеи.

Математическое выражение и компьютерная модель изменения концентрации легколетучих компонентов процессов квазиаппарата масляной фазы в третьей ступени установки дезодорации масла.

$$\frac{dx}{d\tau} = \frac{L_0 x_0 - L \cdot x - K_v V_L (x - x^*)}{V_L \rho_L} \quad (1)$$

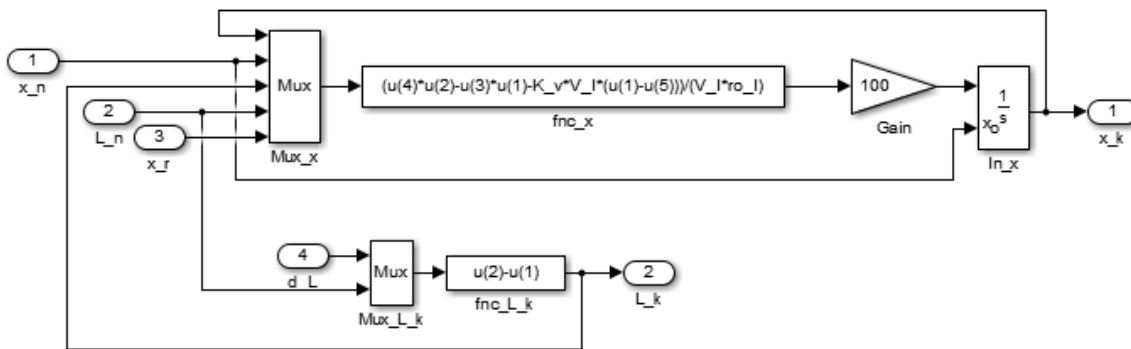


Рис.3. Компьютерная модель изменения концентрации легколетучих компонентов процессов квазиаппарата масляной фазы в третьей ступени установки дезодорации масла.

здесь L_0 и L — начальный и текущий расходы жидкой фазы, кг/с; K_v - коэффициент массообмена жидкой фазы; V_L - объемный расход жидкой фазы (постоянная поверхность контакта), кг/с; ρ_L - плотность жидкой фазы, кг/м³; x_0 и x концентрация компонента в жидкой фазе в начальный и текущий момент времени, %; x^* - равновесная концентрация летучего компонента, %.

Математическое выражение и компьютерная модель квазиаппаратного процесса фазы потребления газа в третьей ступени установки дезодорации хлопкового масла.

$$G_o = G_0 + \sum \Delta L \quad (2)$$

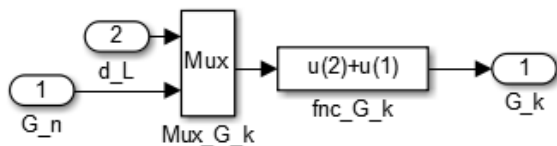


Рис.4. Компьютерная модель квазиаппаратного процесса фазы потребления газа в третьей ступени установки дезодорации хлопкового масла.

здесь G_0 - расход паровой фазы, кг/с; D_L - расход суммарных компонентов, выделенных из масляной композиции в виде пара, кг/с.

Математическое выражение и компьютерная модель изменения температуры масляной фазы процессов дезодорации масла

$$\frac{dt_o}{d\tau} = (L_0 c_l t_0 - L_o c_l t_o - \Delta L i_0) / (V_L \rho_L c_L) \quad (3)$$

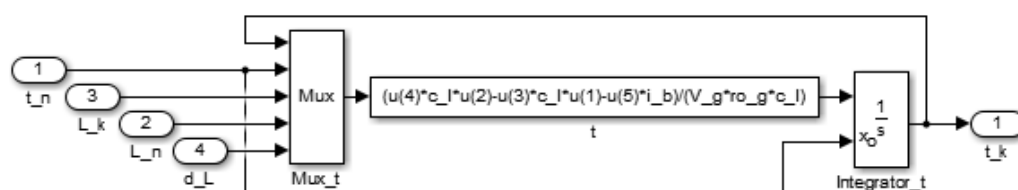


Рис.5. Компьютерная модель изменения температуры масляной фазы процессов дезодорации масла.

где i_6 – энтальпия пара, кДж/кг; c_1 – теплоемкость масла, кДж/(кг·°C), t_6 и t_0 – начальная и конечная температура масла на входе и выходе из аппарата, °C.

Приведены математические выражения и компьютерные модели изменения парциального давления и равновесной концентрации квазиаппаратных процессов масляной фазы в третьей ступени установки дезодорации масла.

$$P = \left(\left(\frac{G \cdot y}{M} \right) / \left(\sum \frac{G_i y_i}{M_i} \right) \right) P_{ум} \quad (4)$$

$$x^* = \frac{P}{(b_{11}t - b_{10}) \cdot 100} \quad (5)$$

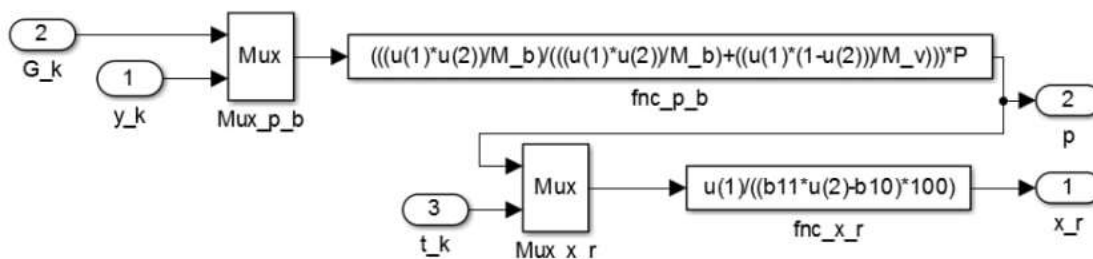


Рис.6. Компьютерные модели изменения парциального давления и равновесной концентрации квазиаппаратных процессов масляной фазы в третьей ступени установки дезодорации масла.

здесь y – концентрация легколетучего компонента в паровой фазе, кмоль/кг; G – расход паровой фазы, кг/с; $P_{ум}$ – общее давление смеси, кПа.

Для определения равновесной концентрации легких летучих компонентов (жирных кислот, кетонов и др.) в масле необходимо знать его парциальное давление. По закону Дальтона полное давление паровой фазы равно сумме парциальных давлений паров компонентов на поверхности раствора:

$$P_{ум} = P_{ек} + P_{сб} + P_{мой}, \quad (6)$$

здесь $R_{ек}$, $R_{сб}$, $R_{мой}$ — парциальные давления легколетучей компоненты, паров воды и нефти соответственно, кПа.

Для определения количества легколетучего компонента в смеси можно использовать предложенную ниже зависимость:

$$m_i = \left(\frac{x_i}{M_i} \right) / \left(\frac{x_1}{M_1} + \frac{x_2}{M_2} + \frac{x_3}{M_3} + \frac{1 - x_1 + x_2 + x_3}{M_4} \right) \quad (7)$$

где M_1, M_2, M_3 и M_4 – легколетучие компоненты и молекулярные массы хлопкового масла, кг/кмоль; x_1, x_2 и x_3 – концентрации (массовые доли) легколетучих компонентов в масле, %.

Математическое выражение и компьютерная модель изменения концентрации летучих компонентов газофазных квазиаппаратных процессов на третьей ступени установки дезодорации масел.

$$\frac{dy}{d\tau} = \frac{G_{\delta}y_{\delta} - G_o y_o + K_V V_L (x - x^*)}{V_L \rho_L} \quad (8)$$

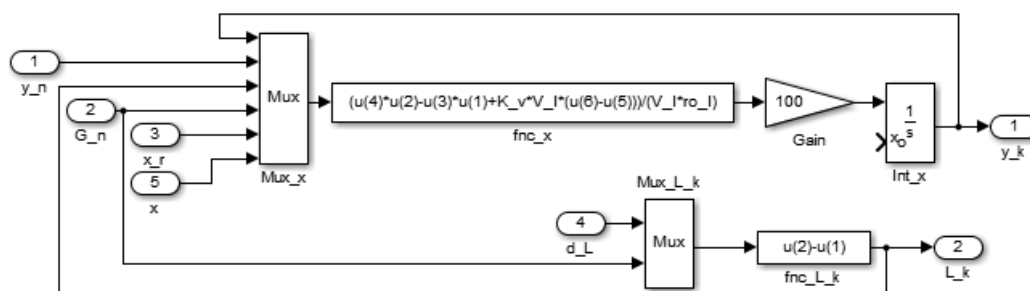


Рис.7. Компьютерная модель изменения концентрации летучих компонентов газофазных квазиаппаратных процессов на третьей ступени установки дезодорации масел.

Количество легколетучих компонентов, испарившихся из жидкой фазы, можно определить следующим образом:

$$\Delta L = \frac{L_{\delta}(x_{\delta} - x)}{100 - x} \quad (9)$$



Рис.8. Компьютерная модель легколетучих компонентов, испарившихся из жидкой фазы.

Степень использования открытого водяного пара в процессе дезодорации характеризуется коэффициентом насыщения вторичного пара:

$$\varphi = \frac{P_{ек}}{P_{ек.мув.}}, \quad (10)$$

здесь $R_{ек}$ – фактическое парциальное давление паров жирных кислот на поверхности масла, кПа; $R_{ек.мув.}$ – парциальное давление паров жирных кислот, находящихся в равновесии с раствором, кПа.

При открытой дезодорации водяным паром паровую фазу можно рассматривать как идеальный газ. Концентрация молекул каждого компонента пропорциональна их парциальным давлениям. Мы можем выразить эту ситуацию следующим образом:

$$\frac{N_{ек}}{N_{сб}} = \frac{P_{ек}}{P_{сб}} \quad \text{ёки} \quad \frac{G_{ек}}{G_{сб}} = \frac{M_{ек}}{M_{сб}} \frac{P_{ек}}{P_{сб}}, \quad (11)$$

где $N_{ек}$, $R_{ек}$, $H_{ек}$ и $M_{ек}$ – количество, парциальное давление, расход и молекулярная масса молекул паров легколетучих компонентов соответственно; $N_{сб}$, $R_{сб}$, $G_{сб}$, $M_{сб}$ — количество, парциальное давление, расход и молекулярная масса открытых молекул водяного пара соответственно.

Обзор математической модели, отражающей изменение концентрации и температуры легких летучих компонентов в жидкой и паровой фазах при дезодорации хлопкового масла, представлен в виде системы уравнений (12).

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dx}{d\tau} &= \frac{L_{\delta} x_{\delta} - L \cdot x - K_v V_L (x - x^*)}{V_L \rho_L} \\ G_o &= G_{\delta} + \sum \Delta L \\ \frac{dt_o}{d\tau} &= (L_{\delta} c_l t_{\delta} - L_o c_l t_o - \Delta L i_{\delta}) / (V_L \rho_L c_L) \\ p &= \left(\left(\frac{G \cdot y}{M} \right) / \left(\sum \frac{G_i y_i}{M_i} \right) \right) P_{\text{уш}} \\ x^* &= \frac{p}{(b_{11} t - b_{10}) \cdot 100} \\ \frac{dy}{d\tau} &= \frac{G_{\delta} y_{\delta} - G_o y_o + K_v V_L (x - x^*)}{V_L \rho_L} \\ \Delta L &= \frac{L_{\delta} (x_{\delta} - x)}{100 - x} \end{aligned} \right. \quad (12)$$

Постоянные значения технологических параметров принимались в следующих пределах для выполнения расчетов с помощью компьютерной модели, сформированной на основе математической модели.

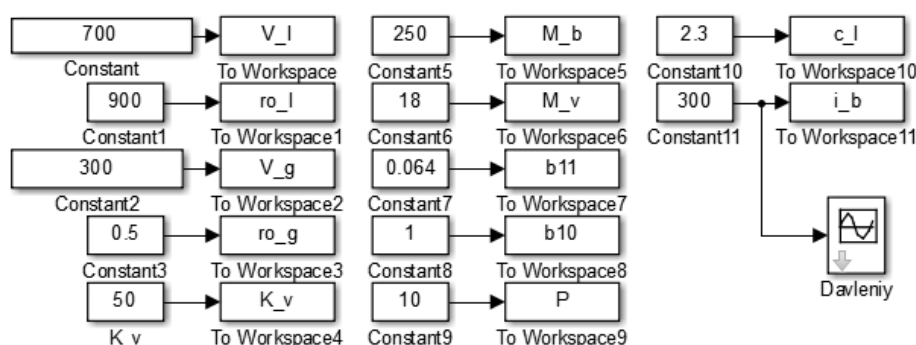


Рис.9. Компьютерной модел сформированной на основе математической модели.

Также изменяемые параметры в процессе дезодорации, в том числе начальная концентрация летучих компонентов в масле $X_n=0,003$, начальная концентрация летучих компонентов в газе $Y_n=0,00001$, начальная температура летучих компонентов в масле $t_n=220$ °С, начальная температура в газовой фазе $t_n=220+10$ °С, начальная температура в масляной фазе $t_n=220$ °С, коэффициент массообмена между нефтяной и газовой фазами принят $K=0,5$. Рассмотрим изменение концентрации летучих компонентов в нефтяной и газовой фазах установки дезодорации масла во времени. Зеленая (1) кривая на графике показывает обогащение паровой фазы легкими летучими компонентами, красная (2) кривая – уменьшение легколетучих компонентов в масле за счет перехода в паровую фазу.

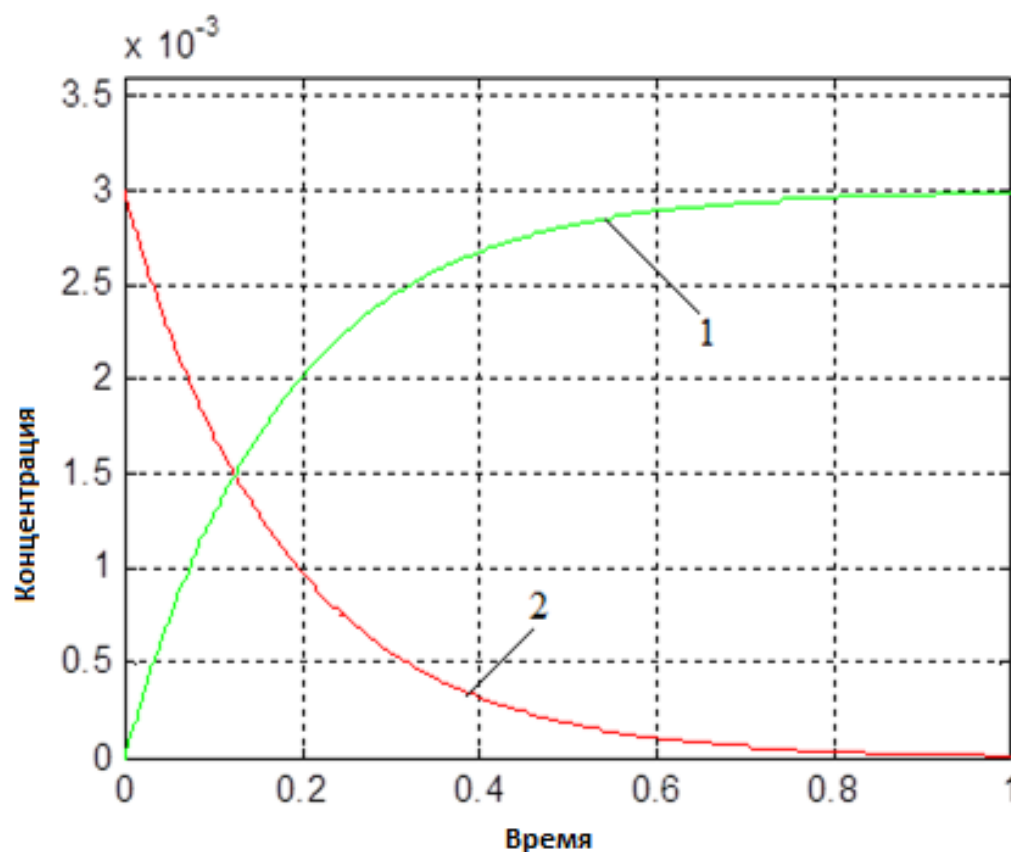


Рис.10. График изменение концентрации летучих компонентов в нефтяной и газовой фазах установки дезодорации масла во времени.

Современные знания о процессах и устройствах пищевой промышленности трудно представить без математического и компьютерного моделирования. Суть данной методики состоит в том, чтобы заменить исходный объект, т.е. процесс дезодорации хлопкового масла, его математической моделью и в дальнейшем исследовать модель путем изменения различных технологических параметров процесса с помощью вычислительных алгоритмов [6]. Этот метод мышления, построения, проектирования

сочетает в себе множество практических и теоретических преимуществ. Работая с моделью объекта, а не с ним, можно относительно быстро и недорого исследовать его свойства и его желаемое (в основном теоретическое) состояние в воображаемых ситуациях. Проведение экспериментов на компьютерной модели процесса дезодорации позволяет достаточно полно и глубоко изучить вопросы, которые не могут быть решены только теоретическими методами.

Литература:

- [1]. Дворецкий Д.С., Ермаков А.А., Пешкова Е.В. Расчет и оптимизация процессов и аппаратов химических и пищевых производств в среде MatLab: Учеб. пособие / Под ред. д-ра техн. наук, проф. С.И. Дворецкого. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. 80 с.
- [2]. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. М.: Физматлит, 2001. 320 с.
- [3]. Ҳамдамов А., Султанов С., Худайбердиев А. Сузувчи насадкалар ёрдамида ўсимлик мойларини дезодорациялаш жараёнининг тизимли таҳлили / НамМТИ илмий техника журнали. 2021, Том 6, Махсус сон № 1. 232-236 бетлар.
- [4]. Артыков А. Компьютерные методы анализа и синтеза химико-технологических систем: Учебник. - Ташкент: Ворис нашриёт, 2010. - 160 с.
- [5]. Гартман Т.Н., Клушин Д.В. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов. - М.: Академкнига, 2006. - 416 с.
- [6]. Кўп боғлиқли динамик объектларни автоматик бошқариш тизимини синтезлаш. Файзиёв Шавкат Исмаатович, Исмойилов Ҳаёт Баротович, Садилаева Саодат Джураевна. (2021). Eurasian Journal of Academic Research, 1(7), 1–8.
- [7]. Study of the hydrodynamic structures of opposite flows of phases during the final distillation of miscella of vegetable oil. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnodar. Volume 848, V 18th June 2021, doi:10.1088/1755-1315/848/1/012203 Narziev Mirzo, Khabibov, Fakhriddin, Ismoilov Khayot, Kuvvatov Khamid Rakhmonov Sh.