

ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР / ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ /
TECHNICAL SCIENCES

DOI 10.54596/2958-0048-2026-1-232-239

УДК 69

МРНТИ 67.09.01

**АНАЛИЗ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И ПОДБОР СЕЧЕНИЙ СТЕРЖНЕЙ
ФЕРМЫ В ПРИЛОЖЕНИИ КМ-САПР ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА
ЛИРА-САПР**

Аубакирова Б.Б.^{1*}, Полищук Н.Ю.¹

^{1*}*НАО «Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева»,
Петропавловск, Казахстан*

**Автор для корреспонденции: aubakirova_68@mail.ru*

Аннотация

В данной статье рассматривается конструирование, расчет и анализ напряженно-деформированного состояния стальной стропильной фермы с помощью расчетно-аналитического программного комплекса ЛИРА-САПР; приложений: КМ-САПР и СТК-САПР. Выполнена задача реализации наиболее эффективного способа подбора прокатных профилей для стержней шарнирно-стержневой конструкции – стропильной фермы с учетом требований, экономичности, унификации и оптимального использования несущей способности конструктивных элементов. Также рассмотрен процесс использования цветовых градиентных шкал для визуального инженерного анализа конструктивной системы.

Ключевые слова: Стropильная ферма, шарнирно-стержневая система, градиентная цветовая шкала, КМ-САПР, электросварные трубы, предельные состояния.

**КМ-САПР ҚОСЫМШАСЫНДА ЖҮК КӨТЕРГІШТІГІН ТАЛДАУ ЖӘНЕ
ӨЗЕКТЕРДІҢ ҚИМАЛАРЫН ТАҢДАУ ЛИРА-САПР БАҒДАРЛАМАЛЫҚ
КЕШЕНІ**

Аубакирова Б.Б.^{1*}, Полищук Н.Ю.¹

^{1*}*«Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті» КеАҚ,
Петропавл, Қазақстан*

**Хат-хабар үшін автор: aubakirova_68@mail.ru*

Андатпа

Бұл мақалада ЛИРА-САПР есептеу және аналитикалық бағдарламалық пакетін пайдалану арқылы болат аркалық фермасының кернеу-деформациялық күйін жобалау, есептеу және талдау; қолданбалар: КМ-САПР және СТК-САПР. Құрылымдық элементтердің жүк көтергіштігінің талаптарын, үнемділігін, бірізділігін және оңтайлы пайдаланылуын ескере отырып, топсалы-өзекті құрылымның – рафтер фермасының өзектері үшін прокат профильдерін таңдаудың ең тиімді әдісін іске асыру міндеті орындалды. Құрылымдық жүйені визуалды инженерлік талдау үшін түс градиенттік шкалаларын қолдану процесі де қарастырылады.

Кілт сөздер: Рафтер фермасы, топсалы штангалық жүйе, градиенттік түс шкаласы, КМ-АЖЖ, электрмен дәнекерленген құбырлар, шекті күйлер.

**THE ANALYSIS OF THE BEARING CAPACITY AND THE SELECTION OF THE
CROSS-SECTIONS OF THE RODS ARE PRESENTED IN THE APPLICATION OF
KM-CAD THE LIRA-CAD SOFTWARE PACKAGE**

B.B. Aubakirova^{1*}, N.Yu. Polishchuk¹

^{1*}*Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan*

^{*}*Corresponding author: aubakirova_68@mail.ru*

Annotation

This article discusses the design, calculation and analysis of the stress-strain state of a steel rafter truss using the LIRA-CAD computational and analytical software package; applications: KM-CAD and STK-CAD. The task of implementing the most effective method of selecting rolled profiles for the rods of a hinged-rod structure – a rafter truss, taking into account the requirements, cost-effectiveness, unification and optimal use of the bearing capacity of structural elements, has been completed. The process of using color gradient scales for visual engineering analysis of a constructive system is also considered.

Keywords: Rafter truss, hinge-rod system, gradient color scale, KM-CAD, electro-welded pipes, limit conditions.

Введение

Стропильные фермы – это несущие конструкции покрытий зданий, также они могут применяться в гражданских зданиях, если необходимо перекрыть большое помещение без промежуточных опор. Ферма, как конструктивный элемент работает по балочной схеме на изгиб. Ферма отличается от балки тем, что у нее вместо сплошной стенки решетчатая сквозная конструкция из раскосов и стоек. Поэтому при одинаковых пролетах у балки и фермы, ферма получается легче. При пролетах более 18м применяются стропильные фермы вместо балок.

Материалы для ферм – это железобетон и сталь. При одинаковых величинах пролетов стальная ферма оказывается легче, чем железобетонная, кроме того, ее технологически проще изготавливать. Начиная с пролета 30м, применяются только стальные фермы.

Материалы и методы исследования

В данной статье рассматривается конструирование, расчет и анализ напряженно-деформированного состояния стальной стропильной фермы с помощью расчетно-аналитического программного комплекса ЛИРА-САПР; приложений: KM-САПР и STK-САПР.

По словам Барабаш М.С. «В настоящее время насущной необходимостью для будущих инженеров и архитекторов становится овладение компьютерными технологиями проектирования зданий и сооружений. Практически все архитектурно-проектные работы, выполняются с использованием тех или иных компьютерных технологий, тех или иных программных комплексов» [1, 10].

Создание геометрии стропильной фермы происходит в системе ЛИР-ВИЗОР ПК ЛИРА-САПР. На первых этапах задаются необходимые исходные данные для расчета конструктивного элемента. Это: задание кинематических связей, предварительное задание жесткостей и нагрузок. Чтобы правильно задать кинематические связи, нужно знать способ опирания стропильной фермы на колонну. Может быть жесткое или шарнирное сопряжения элементов каркаса.

При шарнирном сопряжении ферма имеет крайнюю стойку в виде надколонника, который крепится к опорной плите колонны с помощью болтов. Надколонник выполняется из прокатного двутавра, усиленного ребрами жесткости. Надколонник

воспринимает первую узловую вертикальную нагрузку. Кинематические связи, в данном случае, устанавливаются в соответствующем диалоговом окне по направлениям X и Z , что соответствует шарнирно-подвижной опоре, так как стержень плоской фермы относится к первому признаку схемы со степенями свободы X и Z , и расположением в плоскости XOZ пространственной системы координат.

При жестком сопряжении ферма своими верхним и нижним поясами опирается на колонну посредством фланцевого соединения на болтах. В этом случае кинематические связи по направлениям X и Z устанавливаются в крайнем верхнем и крайнем нижнем узлах с каждой стороны фермы. В этом случае первая узловая вертикальная нагрузка приходится на колонну и в исходных данных не учитывается. Но при жестком сопряжении в торцах фермы появляется изгибающий момент. Он представляет собой пару сил, каждая из которых приложена к верхнему и нижнему узлам в торце стропильной фермы.

Жесткости назначаются в данном расчете в ПК предварительно. При этом используется база прокатных профилей того вида, которые предполагается использовать в дальнейшем для стержней поясов и решетки стропильной фермы.

Вертикальные нагрузки на ферму определяются от суммарного воздействия постоянной и снеговой нагрузок, приведенных к сосредоточенным силам, приложенным к узлам верхнего пояса.

Все эти исходные данные необходимы для выполнения расчета с помощью процессора ПК с целью получения таблицы расчетных усилий в системе Документатор. Эти усилия предназначены для подбора прокатных профилей, которые устанавливаются для соответствующих стержней фермы.

Кроме автоматизированного определения усилий в стержнях фермы, существует еще два способа. Это аналитический метод вырезанием узлов – метод сечений. Он является достаточно трудоемким, но в то же время дает достаточно точный результат. Второй способ определения усилий в стержнях фермы заключается в построении вручную диаграмм Максвелла-Кремоны отдельно от каждого вида нагрузки. Затем для определения расчетных усилий результаты складываются на основании принципа суперпозиции, принятого в инженерной механике и сопротивлении материалов.

По окончании ввода исходных данных в программном комплексе необходимо выполнить контрольные функции. Для этого используются соответствующие команды на панели Выбора и команды диалогового окна Флаги рисования. Далее выполняется расчет и анализ системы в соответствующих разделах программы и предоставляются таблицы расчетных усилий в системе Документатор.

Задачей проектировщика является подбор сечений стержней элементов поясов и решетки, которые бы удовлетворяли требованиям прочности, жесткости и устойчивости конструктивного элемента в целом и его частей. То есть поперечное сечение стержня должно обеспечивать требуемую несущую способность. Несущая способность конструктивного элемента обеспечена, если выполняются проверки по первой и второй группам предельных состояний. Для этого выполняются соответствующие расчеты: по первой группе предельных состояний выполняются расчеты по прочности и устойчивости; по второй группе предельных состояний выполняются расчеты по деформациям (на жесткость). Сечения растянутых стержней фермы подбираются из условия прочности с учетом расчетного сопротивления заданной марки стали. Сечение сжатых элементов фермы подбираются из условия устойчивости с учетом коэффициента

продольного изгиба, расчетной длины и также расчетного сопротивления заданной марки стали.

Определив требуемую площадь поперечного сечения стержня, по сортаменту подбирают прокатный профиль, соответствующий заданию – двутавр, круглая труба или гнутосварной профиль. При выборе номера профиля по сортаменту для сжатых стержней определяющим фактором, наряду с площадью поперечного сечения, является требуемый радиус инерции. Радиус инерции подобранного сечения должен быть равен или больше радиуса инерции, требуемого по расчету.

При расчете ферм учитывают следующие допуски: все усилия в стержнях фермы считаются осевыми, то есть стержни фермы либо центрально сжатые, либо центрально растянутые; все соединения в узлах фермы условно принимаются шарнирными. Поэтому в инженерной механике ферма рассматривается как шарнирно-стержневой конструктивный элемент.

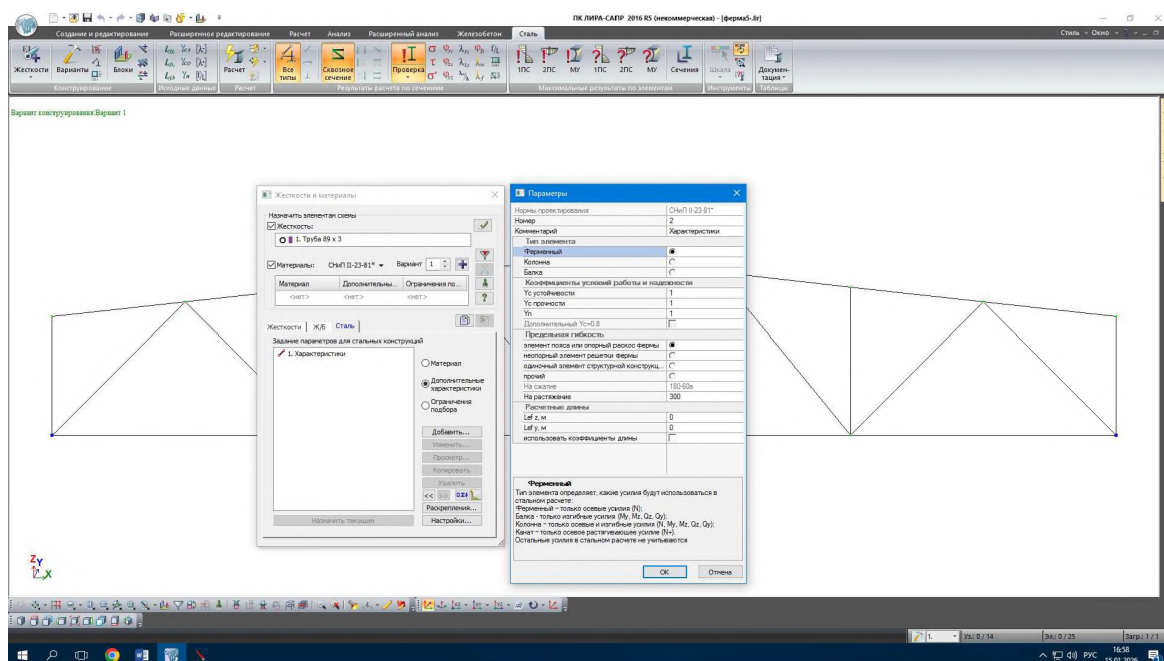


Рисунок 1. Диалоговое окно Задание параметров фермы для стального расчета в КМ_САПР

Шарнирно-стержневая система, рассматриваемая в данной статье, изготавливается из круглых труб по ГОСТ 10704 «Трубы электросварные прямошовные» с шарнирным сопряжением фермы с колонной [2, 3].

Кудишин Ю.И.: «Трубчатое сечение является одним из наиболее эффективным для стержней ферм. Из всех типов профилей труба обладает наиболее благоприятным для сжатых элементов распределением материала относительно центра тяжести и при равной с другими профилями площади поперечного сечения имеет наибольший радиус инерции, одинаковый во всех направлениях, что позволяет получить стержень наименьшей гибкости. Применение труб в фермах дает экономию стали до 20-25%» [3, 271].

После ввода исходных данных и выполнения основного расчета с помощью процессора, подготавливается информация для стального расчета в приложении КМ-САПР. Здесь задаются следующие параметры – материал сталь ВСтЗсп и ферменный элемент в диалоговом окне Параметры-Дополнительные характеристики, см рисунок 1.

После выполнения стального расчета становятся активными рабочие панели вкладки Сталь приложения КМ-САПР: Стальной расчет, Результаты расчета по сечениям, Максимальные результаты по элементам и просмотр подобранных сечений, см рисунок 2.

Далее, используя активные команды панели Максимальные результаты по элементам, выполняются проверки по первой и второй группам предельных состояний. При активизации команды ИПС на рабочем поле проекта появляется Мозаика результатов расчета по первому предельному состоянию стальных стержней с поперечными сечениями, назначенными в исходных данных в процентах использования несущей способности.

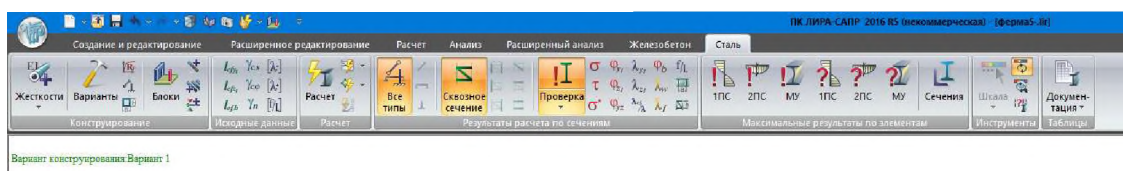


Рисунок 2. Активные рабочие панели вкладки Сталь

На экране отображается градиентная шкала, на которой разными цветами показано какому диапазону использования несущей способности соответствует каждый цвет шкалы. Стержни фермы, для которых определены проценты несущей способности, окрашены в соответствующий цвет, см рисунок 3.

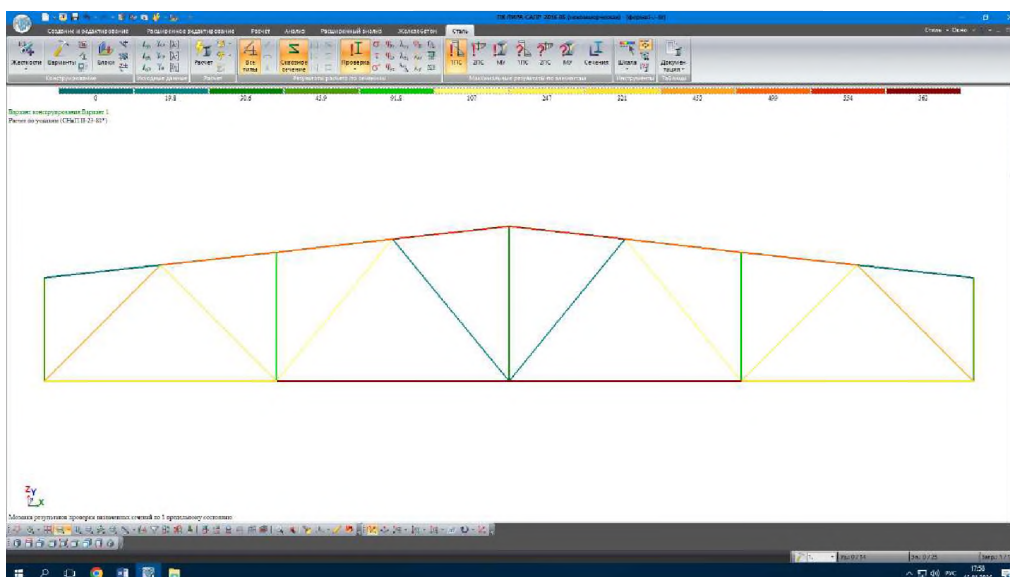


Рисунок 3. Градиентная цветовая шкала распределения несущей способности в элементах фермы в процентах

Такое представление распределения несущей способности позволяет инженеру визуализировать обеспечение прочности в элементах фермы и сделать выводы о внесении изменений в исходные данные заданной системы.

Такая же система определения жесткостей стержней плоской фермы применяется для визуализации результатов расчета по второй группе предельных состояний. Визуальное распределение жесткостей по градиентной шкале выполняется при активизации команды 2ПС. При этом отображается Мозаика результатов расчета по второй группе предельных состояний стальных стержней с поперечными сечениями, назначенными в исходных данных в процентах использования жесткостных характеристик.

В данном случае анализ состояния несущей способности фермы показывает, что прочность и устойчивость на 91,8% обеспечена в стойках фермы. Элементы с обеспечением несущей способности окрашиваются согласно цветовой градиентной шкале зеленым цветом. Желтым и красным цветом окрашиваются элементы, в которых несущая способность не обеспечена. Большое перенапряжение наблюдается в элементах верхнего пояса, расположенных у конька фермы. Реализация несущей способности составляет более 107%, что обозначает не выполнение условия прочности.

Таким образом, необходимо выполнить автоматизированный расчет подбора профилей стержней с помощью соответствующей команды на вкладке Сталь. Данная команда эффективно работает только в случае корректного задания исходных данных и обязательного выполнения стального расчета для ферменного конструктивного элемента.

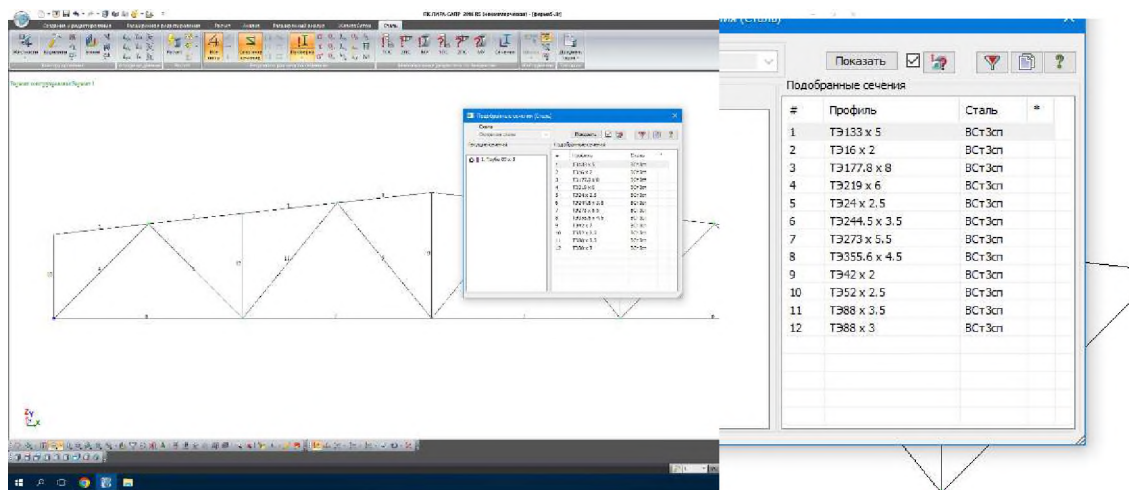


Рисунок 4. Диалоговое окно с геометрической схемой проектируемой фермы и таблицей подбора профилей

На рисунке 4 представлено диалоговое окно с геометрической схемой фермы. Числа возле стержней соответствуют позициям в результирующей таблице, которые показывают подобранные профили по ГОСТ 10704 «Трубы электросварные прямошовные». Данную информацию можно использовать для конструирования узлов фермы, расчета сварных соединений, составления спецификации металла и вычерчивания детализовочного чертежа КМД.

Результаты

На основании полученных результатов был выбран автоматизированный способ подбора профилей с помощью которого обеспечиваются оптимальные параметры сечений стержней. Так как при этом в работе стержней рационально используется материал, то получаются экономичные проектные решения. Полученные результаты могут использоваться при реализации графической части проекта, а также для дальнейшей проверки узлов стропильной фермы с помощью приложения СТК-САПР, где более детально учитываются параметры сварных швов, нормативные требования, учитывающие свариваемость прокатных профилей между собой и возможности унификации конструктивных элементов.

Выводы и заключение

«Так как основой пользовательского интерфейса ПК ЛИРА-САПР является единая интуитивная графическая среда пользователя ВИЗОР-САПР, пользователь, не покидая эту среду, проходит все этапы решения, от создания расчетной схемы до анализа результатов и может переключаться в любой выбранный режим и получать информацию с любого этапа, а также просматривать одновременно окна нескольких режимов. Ведущей формой представления проекта является графическая информация - визуализация объектов в целом и их частей, отображение результатов в виде деформированных схем, эпюр, изополей» [4, с.7].

Таким образом, в результате исследования получены величины усилий в стержнях фермы от осевых нагрузок в системе Документатор. Подготовлены исходные данные и дополнительные расчетные параметры для стального расчета в системе КМ-САПР. Получена визуализация обеспечения несущей способности с помощью градиентных шкал в результате расчетов по первой и второй группам предельных состояний. Более точно выполнен подбор прокатных профилей по параметрам заявленного сортамента на электросварные круглые трубы. Благодаря автоматизации расчета и подбора профилей, в несколько раз сократилось используемое время, получены оптимальные размеры поперечного сечения с наиболее рациональным использованием несущей способности и, как следствие, экономией материала.

Литература:

- 1.М.С.Барабаш. Программные комплексы САПФИР и ЛИРА-САПР - основа отечественных BIM-технологий: монография/ М.С.Барабаш, Д.В.Медведенко, О.И.Палиенко – 2 изд. – М.: Юрайт, 2013. – 366с.
- 2.ГОСТ 10704-91. Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент. Межгосударственный стандарт.
- 3.Металлические конструкции: учебник для студ. учреждений высш. М54 проф. образования / [Ю.И. Кудишин, Е.И. Беленя, В.С. Игнатъева и др.]; под ред. Ю.И. Кудишина. – 13-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 688 с. – (Сер. Бакалавриат).
- 4.Программный комплекс ЛИРА-САПР. Руководство пользователя. Обучающие примеры. Ромашкина М.В., Титок В.П. Под редакцией академика РААСН Городецкого А.С. Электронное издание, 2018. – 254с.

References:

- 1.M.S.Barabash. Programmnye komplekсы SAPFIR i LIRA-SAPR - osnova otechestven-nyh BIM-tekhnologij: monografiya/ M.S.Barabash, D.V.Medvedenko, O.I.Palienko – 2 izd. – M.: YUrajt, 2013. – 366s.

- 2.GOST 10704-91. Truby stal'nye elektrosvarnyye pryamoshovngye. Sortiment. Mezhhosu-darstvennyj standart.
- 3.Metallicheskie konstrukcii: uchebnik dlya stud. uchrezhdenij vyssh. M54 prof. obrazova-niya / [YU.I. Kudishin, E.I. Belenya, V.S. Ignat'eva i dr.]; pod red. YU.I. Kudishina. – 13-e izd., ispr. – M.: Izdatel'skij centr «Akademiya», 2011. – 688 s. – (Ser. Bakalavriat).
- 4.Programmnyj kompleks LIRA-SAPR. Rukovodstvo pol'zovatelya. Obuchayushchie primery. Romashkina M.V., Titok V.P. Pod redakciej akademika RAASN Gorodeckogo A.S. Elek-tronnoe izdanie, 2018. – 254s.

Information about the authors

B.B. Aubakirova – corresponding author, Head of Department Building and design, Associate Professor, PhD, Academician of the International Academy of Informatization, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: aubakirova_68@mail.ru;

N.Yu. Polishchuk – senior Lecturer, Department of "Construction and Design" Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: policshuknatalya@mail.ru.