

УДК: 621.833.2

<https://doi.org/10.47533/2020.1606-146X.96>

**С. М. АХМЕТОВ\*, М. Т. УСЕРБАЕВ, Н. М. АХМЕТОВ,  
Ж. У. ИКЛАСОВА, Ж.К. ЗАЙДЕМОВА**

*Атырауский университет нефти и газа им. С. Утебаева*

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАНСМИССИИ БУРОВЫХ УСТАНОВОК**

*Предложены алгоритмы и подпрограммы для оптимального проектирования трансмиссии лебедок буровых установок (БУ). В целях разработки объединенной программы определения параметров подъемного комплекса (ПК) БУ была создана блок-схема для построения характеристики ПК и определения точек, соответствующих расчетным режимам его работы. Исходя из проведенных исследований кинематики с учетом рационального использования мощности силовых агрегатов, разработан метод разбиения передаточных отношений трансмиссии ПК БУ. Это способствовало определению оптимальной области существования рабочих элементов трансмиссии. Таким образом, на основе созданных методов и математических моделей разработаны алгоритмы и программы для оптимального проектирования трансмиссии подъемного комплекса, ориентированные на применение компьютерных вычислений.*

**Ключевые слова:** трансмиссия, силовые агрегаты, подъемный комплекс, метод разбиения, блок-схема, алгоритмы, программы, оптимальное проектирование.

При оптимальном проектировании трансмиссии подъемного комплекса (ПК) буровых установок (БУ), проводимом с применением методов компьютерных вычислений, необходимо знать нагрузки, действующие на различные подсистемы трансмиссии. В целях решения данной задачи по методике, изложенной ранее в работах [1, 2], нами предложены алгоритмы и подпрограммы для оптимального проектирования трансмиссии.

Анализ современных публикаций в области автоматизации проектирования показывает тенденцию, где в основном идет процесс разработки различных приложений для промышленной автоматизации процесса проектирования, которые позволяют интегрировать устройства ввода и вывода, таких как датчики и исполнительные механизмы, выполняемых в лабораториях по объединению и построению логики. Большое предпочтение стали отдаваться применению цифровой обработки геометрии изготавливаемых деталей при помощи лазерного 3D-сканирования на большие расстояния [3, 4].

В нашем случае объединенная программа определения параметров ПК включает две подпрограммы. Подпрограмма А – для кинематического и силового анализа механических трансмиссий с постоянным и переменным передаточным отношением (рис.

---

\* E-mail корреспондирующего автора: [axmetov\\_aing@mail.ru](mailto:axmetov_aing@mail.ru)

1). Подпрограмма может работать как самостоятельно, так и совместно с другими программами. По ней можно анализировать трансмиссии с числом скоростей до 6, числом пар до 30 и числом приводных двигателей до 4-х.

Поясняем суть и назначение некоторых элементов, показанных в блок-схеме подпрограммы *A* (рис. 1).

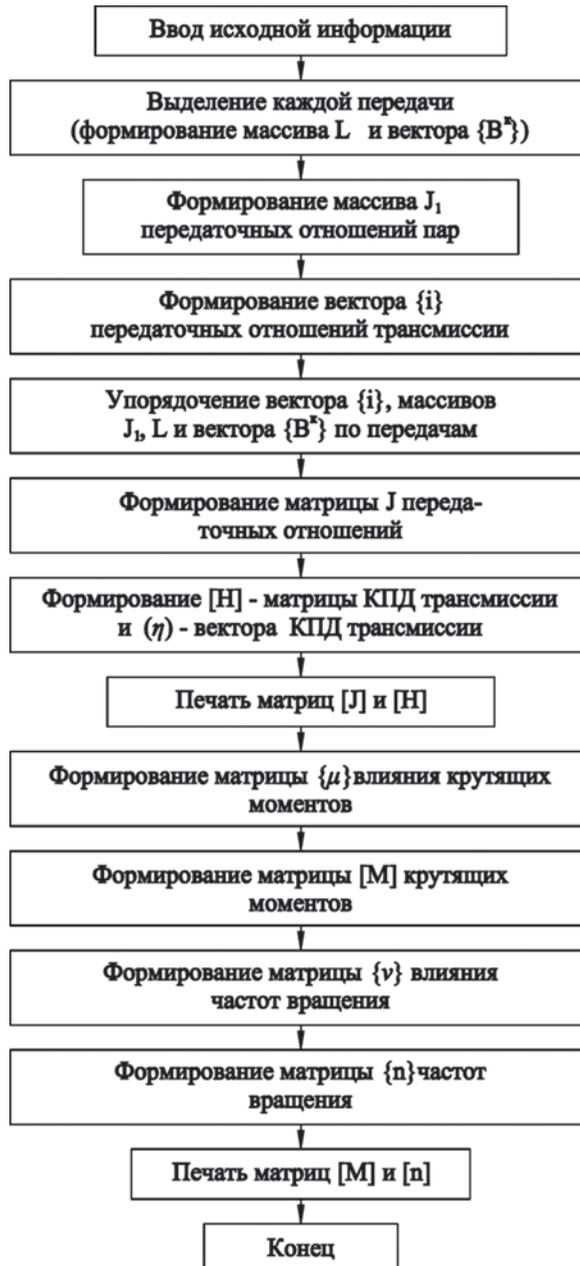


Рисунок 1 – Блок-схема подпрограммы *A* для кинематического и силового анализа трансмиссий с постоянным и переменным передаточным отношением

Массив (элемент)  $L$  представляет совокупность  $\{L^k\}$  векторов, каждый из которых в свою очередь состоит из  $B^k$  координат ( $B^k$  является  $k$ -й координатной вектора  $\{B\}$ ). Таким образом, элемент  $l_s^K$  вектора  $\{L^k\}$  представляет собой пару, входящую в  $k$ -ю передачу и имеющую в этой передаче порядковый номер  $S$ . Структура же массива  $J_1$  аналогична структуре  $L$ . Элемент  $i_s^K$  этого массива представляет передаточное отношение той кинематической пары, номер которой в массиве  $L$  равен  $l_s^K$ .

Подпрограмма анализа характеристики подъемного механизма, включенная в объединенную программу, предназначена для построения характеристики всего ПК и определения точек, соответствующих расчетным режимам его работы.

Блок-схема объединенной программы показана на рис. 2. В начале работает подпрограмма  $A$ . Вычислив число передач, векторы  $\{i\}$  и  $\{\eta\}$ , она пересылает их в соответствующие ячейки подпрограммы  $B$ . Последняя включается в работу и вычисляет все предусмотренные в ней параметры, а найденные векторы  $\{M\}$  и  $\{n\}$  засылает в соответствующие ячейки программы  $A$ . После этого опять начинает работать программа  $A$ , вычисляя остальные параметры и т.д.

При проектировании оптимальной трансмиссии сначала необходимо определить передаточные отношения на каждой передаче. После этого, с учетом особенностей и требований кинематики, прочности, выносливости и конструктивных ограничений, на основе методов дискретного программирования определяем параметры, необходимые для ее проектирования.

В БУ в основном применяются четырех- и шестиступенчатые трансмиссии подъемного механизма [5, 6]. В соответствии с действующими правилами регламентированы два режима скорости: первая используется при ликвидации аварий в пределах (0,1...0,2) м/с; вторая – при подъеме незагруженного элеватора в установившемся режиме движения, значение которой составляет не менее 1,5 м/с [3].

С другой стороны, если учесть, что исходя из практики эксплуатации скорость подъема бурильной колонны максимальной массы должна составлять около 0,4 м/с, то для четырехскоростной трансмиссии очевидно, что определению подлежит лишь одна скорость, а для шестискоростной – три.

В случае проектирования цепных передач трансмиссии БУ важной задачей является определение зоны допустимых значений главных проектных параметров, например, передаточного отношения и числа зубьев звездочек.

Построенная нами область существования цепной передачи показана на рис. 3. Если данная цепь работает при нескольких передачах, то область ее существования  $G$  является пересечением областей  $G_k$  существования ее на каждой передаче:

$$G = G_1 \cap G_2 \dots \cap G_k \dots$$

Проектирование трансмиссии следует начинать с передачи между  $p$ -м (подъемным) и следующим за ним  $(p-1)$ -м валом. При этом нужно учитывать, что для минимизации массы и габаритов всей трансмиссии наибольшие передаточные отношения желательно реализовать цепными передачами, расположенными ближе к подъемному валу.

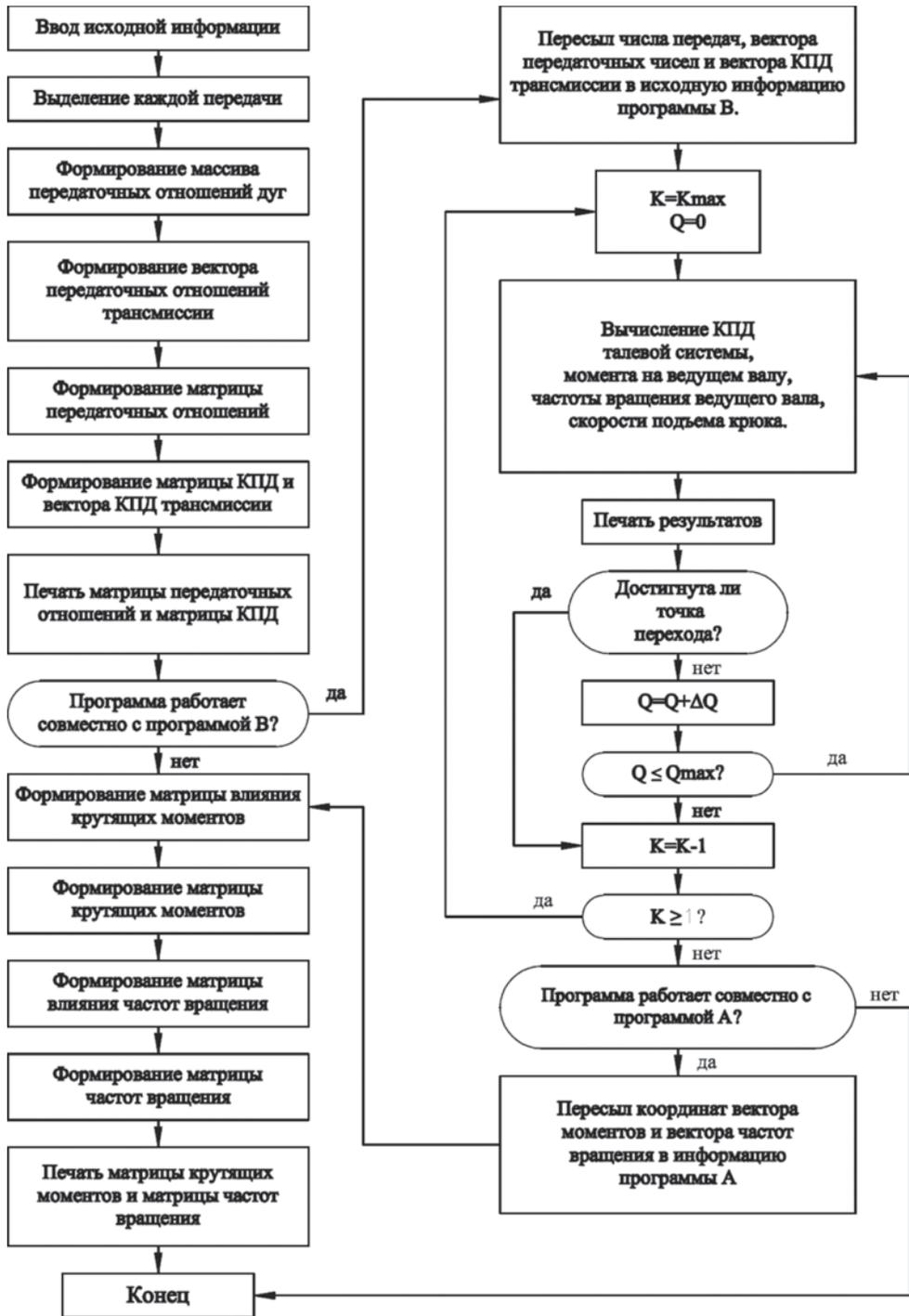
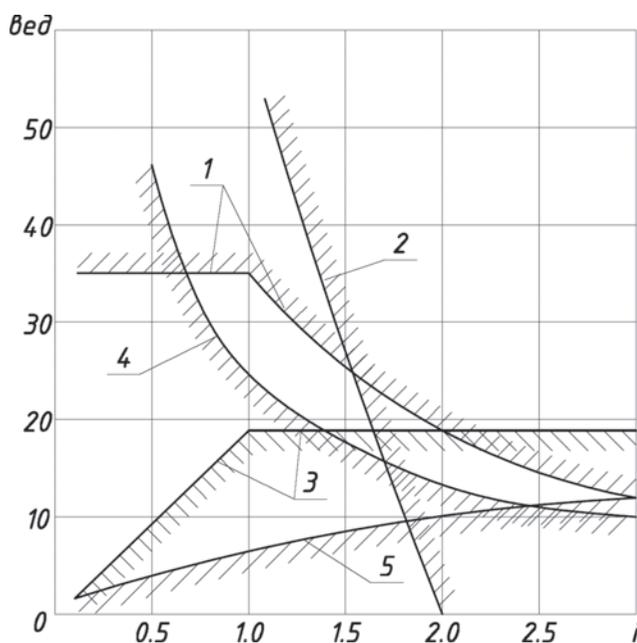


Рисунок 2 – Блок-схема объединенной программы для построения характеристики подъемного комплекса и определения точек, соответствующих расчетным режимам его работы

Исходя из вышеназванных требований, можно анализировать область существования проектируемой цепной передачи и находить максимальное допустимое значение передаточного отношения. Определив затем оставшиеся передаточные отношения, перейдем к проектированию передач между  $(p-1)$ -м и  $(p-2)$ -м валами и т.д. По данному алгоритму составлена программа оптимального проектирования цепной трансмиссии ПК БУ, блок-схема которой показана на рис. 4.

В качестве исходной программа использует информацию: о структурной схеме трансмиссии, задаваемой сокращенной матрицей; о внешней характеристике двигателей, задаваемой в виде кусочно-линейной функции; ориентировочные значения межцентровых расстояний; а также условия внешней среды, в виде значений внешних параметров, определяемых условиями эксплуатации и нормативными документами (допускаемая нагрузка на крюке, глубина скважины, максимальная и минимальная скорости подъема крюка, желаемая долговечность передач и т.п.).



**Рисунок 3** – К определению оптимальной области существования рабочих элементов трансмиссии:

- 1 - ограничение по максимальному диаметру малой звездочки; 2 - ограничение по оборотам холостого хода; 3 - ограничение по шагу цепи; 4 - ограничение по выносливости пластин цепи; 5 - ограничение по выносливости роликов цепи

В результате расчета выдаются все необходимые параметры режима работы передач (типы и рядность цепей, числа зубьев звездочек), характеристика спроектированного подъемного комплекса (грузоподъемности и скорости подъема крюка на каждой передаче), данные необходимые для дальнейшего проектирования – крутящие моменты и частоты вращения на всех валах.

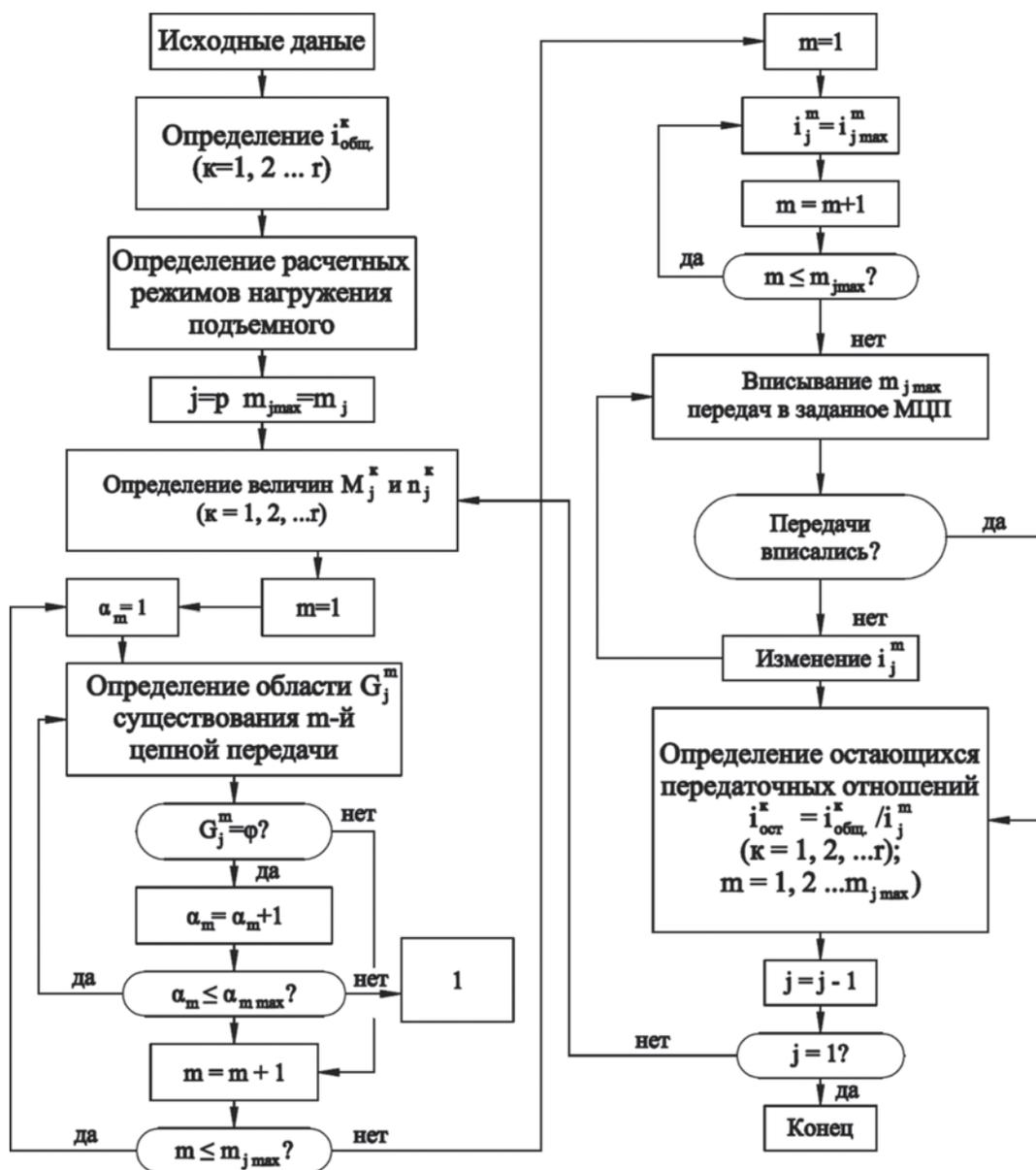


Рисунок 4 – Блок схемы программы оптимального проектирования цепной трансмиссии буровой установки

**Выводы.** 1. Исходя из проведенных исследований кинематики с учетом рационального использования мощности силовых агрегатов разработан метод разбиения передаточных отношений трансмиссии подъемного комплекса лебедки.

2. На основе созданных методов и математических моделей разработаны алгоритмы и программы для оптимального проектирования трансмиссии подъемного комплекса, ориентированные на применение компьютерных вычислений.

**ЛИТЕРАТУРА**

- 1 Ахметов С.М., Ахметов Н.М., Усербаев М.Т. Методика оптимизации параметров силовых зубчатых передач с переменными передаточными отношениями // Вестник НИА РК. – 2020. – №1(75). – С.: 22-29
- 2 Айтимов А.С., Ахметов С.М., Ахметов Н.М.. Методика расчета параметров трансмиссии с групповым приводом // Вестник НИА РК. – 2020. – №1(75). – С.: 10-17
- 3 Dusrarlapudi K., Narasimha K. Raju, Allaparapu S., Vishnu P., Sai Sree, Kishore K., Kumar. Hardware simulation platform for Industrial Automation applications // International Journal of Future Generation Communication and Networking, 2021. Vol. 14. No. 1. PP. 107-117
- 4 Hiroaki D., Tomohiro M., Kiichiro I. Digital Geometry Processing for Large-Scale Structures and Environments // International Journal of Automation Technology, 2021. Vol.15. No.3, PP. 257
- 5 [Samohvalov M.A., Montaj i ekspluatatsiya burovogo oborudovaniya: uchebnoe posobie. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2010. – 312 s.]
- 6 ГОСТ 31844-2021. Межгосударственный стандарт (ISO 13535:2000 MOD). Нефтяная и газовая промышленность. Оборудование буровое и эксплуатационное. Оборудование подъемное. Общие технические требования. – М.: 2013.

**REFERENCES**

- 1 Akhmetov S.V., Akhmetov N.V., Userbaiyev M.T. Metodika optimizacii parametrov silovyh zubchatyh peredach s peremennymi peredatochnymi otnosheniyami // Vestnik NIA RK. – 2020. – №1(75). – С.: 22-29.
- 2 Aitimov A.S., Akhmetov S.V., Akhmetov N.V. Metodika rascheta parametrov transmissii s grupповым приводом // Vestnik NIA RK. – 2020. – №1(75). – С.: 10-17.
- 3 Dusrarlapudi K., Narasimha K. Raju, Allaparapu S., Vishnu P., Sai Sree, Kishore K., Kumar. Hardware simulation platform for Industrial Automation applications // International Journal of Future Generation Communication and Networking, 2021. Vol. 14. No. 1. PP. 107-117.
- 4 Hiroaki D., Tomohiro M., Kiichiro I. Digital Geometry Processing for Large-Scale Structures and Environments // International Journal of Automation Technology, 2021. Vol.15. No.3, PP. 257.
- 5 Samohvalov M.A., Montaj i ekspluatatsiya burovogo oborudovaniya: uchebnoe posobie. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2010. – 312 s.
- 6 GOST 31844-2021. Mejjosudarstvennyi standart (ISO 13535:2000 MOD). Neftiyanaia promyshlennost. Oborudovanie burovое I ekspluatacionnoe. Oborudovanie podiemnoe. Obshie tekhnicheskie trebovaniya. – М.: 2013.

**С. М. АХМЕТОВ, М. ӨСЕРБАЕВ, Н. М. АХМЕТОВ,  
Ж. У. ИҚЛАСОВА, Ж. Қ. ЗАЙДЕМОВА**

*С. Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті*

**БҰРҒЫЛАУ ҚОНДЫРҒЫЛАРЫНЫҢ ТРАНСМИССИЯСЫН ОҢТАЙЛЫ  
ЖОБАЛАУДЫ АВТОМАТТАНДЫРУ**

*Бұрғылау қондырғыларының (БК) шығырларының трансмиссиясын оңтайлы жобалау үшін алгоритмдер мен кіші бағдарламалар ұсынылған. БҚ көтеру кешенінің (КК) параметрлерін анықтаудың біріктірілген бағдарламасын әзірлеу мақсатында КК сипаттамасын құру және оның*

жұмысының есептік режімдеріне сәйкес келетін нүктелерді анықтау үшін блок-схема жасалды. Күш агрегаттарының қуатын ұтымды пайдалануды ескере отырып, кинематикалық зерттеулерге сүйене отырып, БҚ КК трансмиссиясының беріліс коэффициенттерін бөлу әдісі ұсынылды. Бұның өзі, беріліс жұмыс элементтерінің оңтайлы аймағын анықтауға ықпал етті. Осылайша, жасалған әдістер мен математикалық модельдер негізінде компьютерлік есептеулерді қолдануға бағытталған көтеру кешенінің берілісін оңтайлы жобалау үшін алгоритмдер мен бағдарламалар жасалды.

**Түйін сөздер:** трансмиссия, күштік агрегаттар, көтеру кешені, бөлу әдісі, блок-схема, алгоритм, бағдарламалар, оңтайлы жобалау.

**S. M. AKHMETOV, M. USERBAYEV, N. M. AKHMETOV,  
ZH. U. IKLASOVA, ZH. K. ZAIDEMOVA**

*Atyrau University of Oil and Gas named after S. Utebayev*

## **AUTOMATION OF OPTIMAL DESIGN OF DRILLING RIG TRANSMISSION**

*Algorithms and subroutines for optimal design of the transmission of drilling rig winches are proposed. In order to develop a joint program for determining the parameters of the lifting complex of the drilling rig, a block diagram was created to build the characteristics of the lifting complex and determine the points corresponding to the calculated modes of its operation. Based on the conducted kinematics studies, taking into account the rational use of the power of power units, a method for dividing the transmission ratios of the transmission of the lifting complex of the drilling rig is developed. This helped to determine the optimal area of existence of the working elements of the transmission. Thus, on the basis of the created methods and mathematical models, algorithms and programs for the optimal design of the transmission of the lifting complex, focused on the use of computer calculations, are developed.*

**Keywords:** *transmission, power units, lifting complex, partitioning method, block diagram, algorithms, programs, optimal design.*