

УДК 621.875.56

## ОБОСНОВАНИЕ ПЕРЕХОДА ОТ ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИХ К АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДАМ РАСЧЕТА ШАРНИРНЫХ СТРЕЛОВЫХ СИСТЕМ ПОРТАЛЬНЫХ КРАНОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ

**Носов Виктор Алексеевич,**

ООО «Меркатор Калуга», главный инженер, г. Калуга, victor-nosov@mail.ru.

**Раевский Владимир Алексеевич,**ФГБОУ ВО «Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского», доцент  
кафедры информатики и информационных технологий, г. Калуга, var-77@mail.ru.**Степанцова Дарья Алексеевна,**ФГБОУ ВО «Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского», студент  
бакалавриата кафедры информатики и информационных технологий, г. Калуга,  
stepantsovada@tksu.ru.

### Аннотация

В настоящей статье дается краткое описание конструкции портальных кранов с прямой поперечиной, приводятся данные по износу парка портальных кранов на настоящий момент, делается вывод: старение парка портальных кранов опережает темпы обновления. Описывается связь между параметрами шарнирной стреловой системы, траекторией груза и неуравновешенным грузовым моментом как важнейшим параметром портального крана. Формулируются некоторые недостатки графоаналитических методов расчета стреловых систем. Сравниваются результаты расчета, выполненного графоаналитическим методом с результатами аналитического расчета применительно к существующему крану «Альбатрос 10/20». Формулируется необходимость перехода к созданию обобщенных аналитических моделей, позволяющих реализовать расчеты с применением ЭВМ.

**Ключевые слова:** портальный кран, стреловая система, расчет, проектирование, графоаналитический метод, аналитический метод.

## RATIONALE FOR THE TRANSITION FROM GRAPHIC-ANALYTICAL TO ANALYTICAL METHODS FOR CALCULATION OF PORTAL CRANES HINGED BOOM SYSTEMS USING COMPUTERS

**Viktor A. Nosov,**

LLC «Merkator Kaluga», chief engineer, Kaluga city, victor-nosov@mail.ru.

**Vladimir A. Raevsky,**

Kaluga State University named after K.E. Tsiolkovski, Associate Professor of the Department of Informatics and Information Technologies, Kaluga city, var-77@mail.ru.

**Darya A. Stepantsova,**

Kaluga State University named after K.E. Tsiolkovski, Undergraduate Student of the Department of Informatics and Information Technologies, Kaluga city, titovamg@tksu.ru.

---

## ABSTRACT

---

This article briefly describes the design of straight-beam portal cranes, presents data on the current aging of the portal crane fleet, and concludes that the aging of the portal crane fleet is outpacing the rate of replacement. It describes the relationship between the parameters of the articulated boom system, the load trajectory, and the unbalanced load moment as the most important portal crane parameter. Some shortcomings of graph-analytical methods for calculating boom systems are identified. The results of calculations performed using the graph-analytical method are compared with the results of analytical calculations applied to the existing Albatros 10/20 crane. The need for a transition to the development of generalized analytical models that enable computer-based calculations is highlighted.

---

**Keywords:** portal crane, hinged boom system, calculation, design, graphic-analytical method, analytical method.

---

В настоящее время, несмотря на существенное развитие перевозок грузов в контейнерах и внедрением перегрузочных комплексов непрерывного транспорта [1], в морских и речных портах около 70% грузовых работ выполняется по схеме, включающей краны, в том числе и портальными кранами. При этом около 90% процентов портальных кранов – с шарнирно-сочлененной стреловой системой (ШСС ПК) [2].

Портальные краны являются стреловыми полноповоротными; поворотная платформа располагается на портале, перемещающемся по рельсовому пути, проложенному непосредственно на земле или эстакаде. На поворотной платформе установлены машинная кабина с механизмами, обеспечивающими работу крана, и стреловое устройство [3] (рисунок 1).

Для парка портальных кранов характерен износ, превышающий 96% [2]. Некоторые портальные краны имеют срок службы, достигающий 40-50 лет; эта величина в разы превышает нормативный эксплуатационный ресурс [4, 5]. При этом темпы старения парка кранов отрасли значительно опережают темпы обновления.

В сложившейся ситуации решение проблем обновления парка портовых кранов может осуществляться как через внедрение современных образцов портальных кранов с учетом передового научно-технического опыта, так и через капитальный ремонт и модернизацию существующих кранов, что позволяет на десятилетие продлить срок службы, в разы сократить расходы на покупку нового крана (стоимость может достигать 500 миллионов рублей), адаптировать управление под современные требования [5].

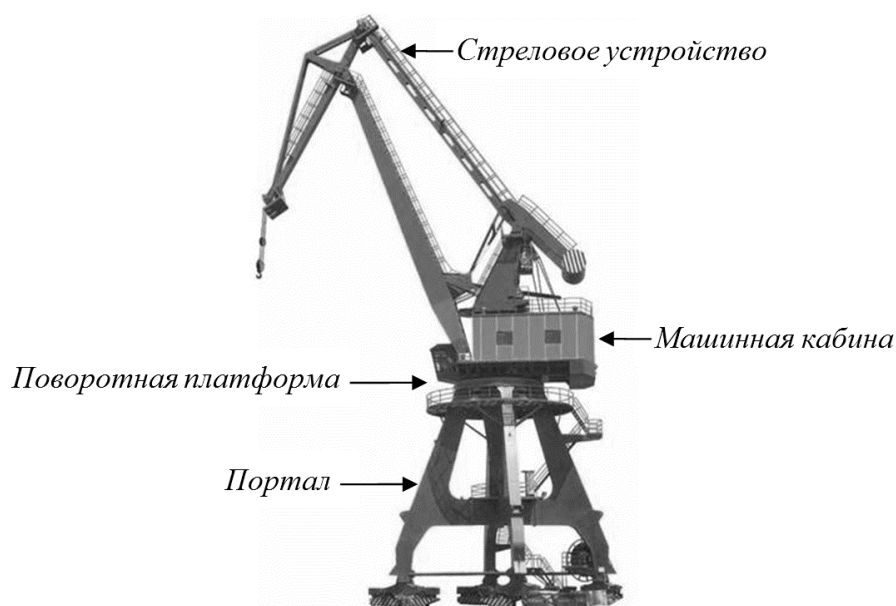


Рисунок 1 – Конструкция портального крана

В современных условиях растут требования к качеству машин, снижению металлоемкости и энергетических затрат. Эти проблемы могут быть решены с использованием новых методов расчета, позволяющих оптимизировать параметры системы по заданным целевым функциям. Особо следует отметить, что при проектировании портальных кранов очень редко имеется возможность создания опытного образца, который можно было бы всесторонне испытать и исследовать в реальных условиях эксплуатации. Конструктор должен быть уверен, что произведенные им расчеты учитывают процессы, реально протекающие при функционировании кранов.

Качество портального крана в значительной степени зависит от геометрических параметров шарнирной стреловой системы. Современные высокоскоростные и металлоемкие портальные краны – достаточно дорогие и сложные объекты конструирования, в которых тщательный и полный проектный геометрический, кинематический и динамический расчет шарнирной стреловой системы позволяет вскрыть существующие резервы и одновременно избежать ошибок.

В портальных кранах изменение вылета является рабочим движением и выполняется с грузом при высоких скоростях горизонтального перемещения. При этом основное требование к укосине портального крана – отклонение траектории груза от горизонтали должно быть минимальным при изменении вылета крана, так как в конечном счете это влияет на грузовой момент [6].

Траектория точки подвеса груза  $Y_g(\varphi)$  при изменении угла  $\varphi$  наклона стрелы в рабочем диапазоне определяется суммой траекторий предполагаемого перемещения крюка  $Y_k(\varphi)$  с учетом кратности полиспаста, и оси концевой блока хобота  $Y_x(\varphi)$ , компенсирующего перемещение крюка. Следовательно, задача оптимизации траектории груза сводится к сочетанию характеристик траекторий крюка и хобота таким образом, чтобы отклонение траектории груза было минимальным.

Расчет ШСС ПК «Альбатрос» при проектировании проводился графоаналитическими методами [6]-[8]. Эти методы основаны на геометрических построениях, заменяющих аналитические вычисления и численные операции. Основными недостатками графоаналитических методов являются: меньшая точность, чем у аналитических методов, и нередко большая громоздкость построений, особенно при стремлении повысить точность расчетов.

В таблице приведены технические характеристика портального крана «Альбатрос 10/20» [9].

Поставлена задача проверить гарантированную зону обслуживания при указанных геометрических параметрах стреловой системы портального крана (см. Таблицу), используя аналитические методы.

Таблица – Некоторые технические характеристика портального крана «Альбатрос 10/20»

|                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                           |                              |        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------|
| Тип крана                                                                                                                                                                                                                                                                | Портальный электрический передвижной полноповоротный кран (с изменяющимся вылетом стрелы) |                              |        |
| Назначение крана                                                                                                                                                                                                                                                         | Работа с грейфером и крюком                                                               |                              |        |
| Режим работы механизмов крана:                                                                                                                                                                                                                                           | грейфером<br>(груз-ность 10 т.)                                                           | крюком<br>(груз-ность 10 т.) |        |
| Механизм подъема                                                                                                                                                                                                                                                         | 6М (ВТ)                                                                                   | 6М (ВТ)                      | 3М (Л) |
| Механизм поворота                                                                                                                                                                                                                                                        | 5М (Т)                                                                                    | 5М (Т)                       | 3М (Л) |
| Механизм изменения вылета стрелы                                                                                                                                                                                                                                         | 3М (Л)                                                                                    | 5М (Т)                       | 3М (Л) |
| Механизм передвижения                                                                                                                                                                                                                                                    | 3М (Л)                                                                                    | 3М (Л)                       | 3М (Л) |
| Грузоподъемность крана, т                                                                                                                                                                                                                                                | 10/20                                                                                     |                              |        |
| Вылет стрелы, м: наибольший<br>наименьший                                                                                                                                                                                                                                | 32/16<br>8/10                                                                             |                              |        |
| Высота подъема, м:<br>При работе грейфером:<br>над подкрановым рельсом<br>ниже подкранового рельса<br>При работе крюком 10 т.:<br>над подкрановым рельсом<br>ниже подкранового рельса<br>При работе крюком 20 т.:<br>над подкрановым рельсом<br>ниже подкранового рельса | 22<br>15<br>25<br>15<br>22<br>8                                                           |                              |        |
| Скорость, м/мин: подъема<br>опускания<br>изменения вылета стрелы<br>передвижения                                                                                                                                                                                         | 63/32<br>63/32<br>63/32<br>32                                                             |                              |        |
| Скорость вращения поворотной части крана, мин-1                                                                                                                                                                                                                          | 1,6                                                                                       |                              |        |
| Ширина колеи портала (расстояние между центрами головок подкранового рельса), м                                                                                                                                                                                          | 10,5                                                                                      |                              |        |
| База портала (расстояние между центрами опорных фланцев тележек передвижения, устанавливаемых на общем подкрановом пути), м                                                                                                                                              | 10,5                                                                                      |                              |        |

|                                                        |        |
|--------------------------------------------------------|--------|
| Общая высота крана при минимальном (приблизительно), м | 46     |
| Геометрические параметры стреловой системы крана, м:   |        |
| длина хобота                                           | 11,923 |
| длина поперечины                                       | 4,297  |
| длина стрелы                                           | 26,038 |
| длина оттяжки                                          | 19,950 |

Расчетная схема приведена на рисунке 2. Кривошипно-ползунный механизм имитирует переднее плечо ШСС ПК: стрелу и хобот

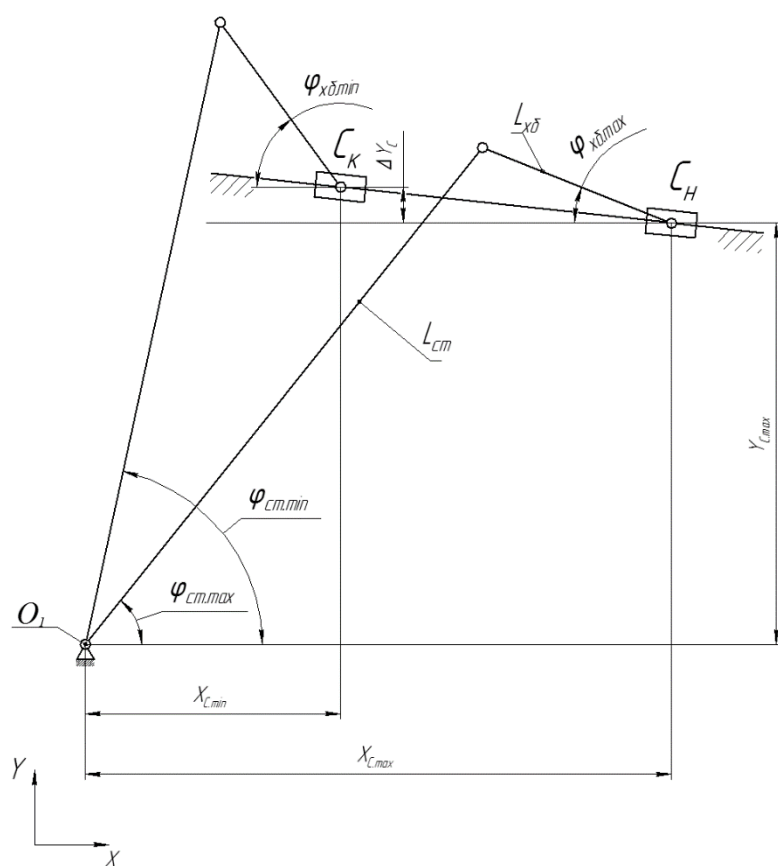


Рисунок 2 – Расчетная схема для определения гарантированной зоны обслуживания

На основании расчетной схемы составлена система уравнений, описывающая положение оси концевого блока хобота при минимальном и максимальном вылете ШСС ПК:

$$\begin{aligned}
 X_{C.\max} &= L_{cm} \cdot \cos(\varphi_{cm.\max}) + L_{xb} \cdot \cos(\varphi_{xb.\max}), \\
 Y_{C.\max} &= L_{cm} \cdot \sin(\varphi_{cm.\max}) - L_{xb} \cdot \sin(\varphi_{xb.\max}), \\
 X_{C.\min} &= L_{cm} \cdot \cos(\varphi_{cm.\min}) + L_{xb} \cdot \cos(\varphi_{xb.\min}), \\
 Y_{C.\min} &= L_{cm} \cdot \sin(\varphi_{cm.\min}) - L_{xb} \cdot \sin(\varphi_{xb.\min}),
 \end{aligned}$$

где:  $X_C$  – абсцисса точки конца хобота, м;

$Y_C$  – ордината точки конца хобота, м;

$$Y_{C.min} = Y_{C.max} + \Delta Y_C$$

$$L_{cm} = 26,038 \quad \text{– длина стрелы, м;}$$

$$L_{x\phi} = 11,923 \quad \text{– длина хобота, м;}$$

$$\phi_{cm.max} = 45 \quad \text{– угол наклона стрелы при максимальном вылете, град;}$$

$$\phi_{x\phi.max} = 30 \quad \text{– угол наклона хобота при максимальном вылете, град;}$$

$$\phi_{cm.min} = 80 \quad \text{– угол наклона стрелы при минимальном вылете, град;}$$

$$\phi_{x\phi.min} = 80 \quad \text{– угол наклона хобота при минимальном вылете, град.}$$

Таким образом,

$$X_{C.max} = 26,038 \cdot \cos(45^0) + 11,923 \cdot \cos(30^0) = 29,22 \quad \text{м,}$$

$$Y_{C.max} = 26,038 \cdot \sin(45^0) - 11,923 \cdot \sin(25^0) = 13,37 \quad \text{м,}$$

$$X_{C.min} = 26,038 \cdot \cos(80^0) + 11,923 \cdot \cos(80^0) = 6,59 \quad \text{м,}$$

$$Y_{C.min} = 26,038 \cdot \sin(80^0) - 11,923 \cdot \sin(80^0) = 13,9 \quad \text{м.}$$

Разница между координатами по оси X (определяют величину зоны обслуживания по оси X), заявленными в технической характеристике и определёнными аналитическим способом:

$$\Delta X_{C.max} = X_{C.mex.xap.max} - X_{C.max} = 32 - 29,22 = 2,78 \quad \text{м,}$$

$$\Delta X_{C.min} = X_{C.mex.xap.min} - X_{C.min} = 8 - 6,59 = 1,41 \quad \text{м,}$$

где:  $X_{C.mex.xap.max} = 32$  – абсцисса точки конца хобота на максимальном вылете, заявленная в технических характеристиках, м;

$X_{C.mex.xap.min} = 8$  – абсцисса точки конца хобота на минимальном вылете, заявленная в технических характеристиках, м;

Так как в технических характеристиках отсутствует информация по координате Y точки размещения обводного блока на конце хобота, разница между координатами по оси Y не проводилась.

Тогда погрешность графоаналитического метода по сравнению с аналитическим составляет:

$$\delta X_{C.max} = \frac{\Delta X_{C.max}}{X_{C.mex.xap.max}} 100\% = \frac{2,78}{32} 100\% = 8,7\%$$

$$\delta X_{C.min} = \frac{\Delta X_{C.min}}{X_{C.mex.xap.min}} 100\% = \frac{1,41}{8} 100\% = 17,6\%$$

Таким образом, при синтезе ШСС ПК графоаналитические методы могут не дать требуемой точности вычислений, что существенно сказывается как на геометрических характеристиках шарнирной стреловой системы, так и величине грузового момента,

параметрах противовесной системы и т.п. Особую актуальность приобретает разработка обобщенных математических моделей ШСС ПК и реализация их на ЭВМ с применением современных прикладных пакетов для инженерных расчетов, обеспечивающих, в том числе, графическую визуализацию результатов. Значение обобщенных моделей возрастает также в связи с проблемой создания систем автоматизированного проектирования грузоподъемных машин.

### Список литературы:

1. Ступникова, Е. А. Модернизация портовой инфраструктуры для обслуживания контейнерных перевозок нового поколения / Е. А. Ступникова // Вестник евразийской науки. – 2025. – Т. 17, № 56.
2. Шустова, О. В. Оптимизация перегрузочных работ на контейнерном терминале морского порта // Молодёжь и наука: Сборник материалов VI Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2011. – URL: <https://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/3803?ysclid=mte76zghvp99388568>. – [Дата публикации: --?.--?.2011].
3. Соловьева, М. В. Техничко-исторический анализ развития конструкций порталных кранов / М. В. Соловьева, О. В. Леонова // Современные вызовы транспортной отрасли: новые возможности : Материалы межвузовской научно-практической конференции транспортных вузов, Москва, 27-28 февраля 2024 года. – Москва: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2024. – С. 225-228.
4. Синельщиков, Е. В. Исследование производственной функции портового терминала при переходе на использование мобильных перегрузочных систем / Е. В. Синельщиков, М. С. Турпищева // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2018. – № 1(65). – С. 66-70.
5. 90% порталных кранов в портах РФ исчерпали ресурс – как продлить им жизнь без покупки нового оборудования. ПортСнаб разбирается в вопросе // Судостроение. Судоходство. Судоремонт. Портал Корабел.ру : [портал]. – 2025. – 11 декабря. – URL: [https://www.korabel.ru/news/comments/90\\_portalnyh\\_kranov\\_v\\_portah\\_rf\\_ischerpali\\_resurs\\_-\\_kak\\_prodlit\\_im\\_zhizn\\_bez\\_pokupki\\_novogo\\_oborudovaniya.html?ysclid=mte85zn56523461504](https://www.korabel.ru/news/comments/90_portalnyh_kranov_v_portah_rf_ischerpali_resurs_-_kak_prodlit_im_zhizn_bez_pokupki_novogo_oborudovaniya.html?ysclid=mte85zn56523461504) (дата обращения: 13.05.2026).
6. Ланг, А.Г. Портальные краны. Расчет и конструирование / А.Г. Ланг, И.С. Мазовер, В.С. Майзель. – Москва-Ленинград.: Машгиз, 1962. – 284 с.
7. Ксюнин, Г. П. Расчет порталных кранов : учеб. пособие / Г. П. Ксюнин, В. Г. Полежаев, Б. Ф. Иванов [и др.] ; Новочерк. политехн. ин-т им. Серго Орджоникидзе. – Новочеркасск : НПИ, 1990. – 80 с.
8. Ерофеев, Н.И. Портальные краны : учеб. пособие для механизаторской и эксплуатационной специальностей вузов ММФ. – Москва : Речной транспорт, 1962. – 563 с.
9. Инструкция по эксплуатации порталных кранов «Альбатрос» грузоподъемностью 10/20 т постройки 1972-1974 г.г. – Москва: ЦРИА «Морфлот», 1979. – 124 с.

**References:**

1. Stupnikova, E.A. Modernization of port infrastructure for servicing new generation container transportation / E.A. Stupnikova // The Eurasian Scientific Journal. – 2025. – Vol. 17, Iss. S6. – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_89346300\\_39898965.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_89346300_39898965.pdf) (access date: 11.05.2026). (In Russian).
2. Shustova, O. V. Optimizatsiya peregruzochnykh rabot na kontejnernom terminale morskogo porta // Molodyozh' i nauka: Sbornik materialov VI Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchyonykh. – Krasnoyarsk: Sibirskij federal'nyj un-t, 2011. – URL: <https://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/3803?ysclid=mte76zghvp99388568>. – [Publication date: --?..2011]. (In Russian).
3. Solov'eva, M. V. Tekhniko-istoricheskij analiz razvitiya konstruktsij portal'nykh kranov / M. V. Solov'eva, O. V. Leonova // Sovremennye vyzovy transportnoj otrasli: novye vozmozhnosti : Materialy mezhvuzovskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii transportnykh vuzov , Moskva, 27–28 fevralya 2024 goda. – Moskva: Izdatel'sko-torgovaya korporatsiya «Dashkov i K», 2024. – P. 225-228. (In Russian).
4. Sinelschikov, E. V. Study of production functions of a port terminal during the transition to the use of mobile handling systems / E. V. Sinelschikov, M. S. Turpischeva // Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2018. – № 1(65). – P. 66-70. – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_34908145\\_28843972.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_34908145_28843972.pdf) (access date: 12.05.2026). (In Russian).
5. 90% portal'nykh kranov v portakh RF ischerpali resurs – kak prodlit' im zhizn' bez pokupki novogo oborudovaniya. PortSnab razbiraetsya v voprose // Sudostroenie. Sudokhodstvo. Sudoremont. Portal Korabel.ru : [portal]. – 2025. – 11 dekabrya. – URL: [https://www.korabel.ru/news/comments/90\\_portalnyh\\_kranov\\_v\\_portah\\_rf\\_ischerpali\\_resurs\\_-\\_kak\\_prodlit\\_im\\_zhizn\\_bez\\_pokupki\\_novogo\\_oborudovaniya.html?ysclid=mte85zn56523461504](https://www.korabel.ru/news/comments/90_portalnyh_kranov_v_portah_rf_ischerpali_resurs_-_kak_prodlit_im_zhizn_bez_pokupki_novogo_oborudovaniya.html?ysclid=mte85zn56523461504) (access date: 13.05.2026). (In Russian).
6. Lang, A.G. Portal'nye krany. Raschet i konstruirovanie / A.G. Lang, I.S. Mazover, V.S. Majzel'. – Moskva-Leningrad.: Mashgiz, 1962. – 284 p. (In Russian).
7. Ksyunin, G. P. Raschet portal'nykh kranov : ucheb. posobie / G. P. Ksyunin, V. G. Polezhaev, B. F. Ivanov [i dr.] ; Novoчерк. politekhn. in-t im. Sergo Ordzhonikidze. – Novoчерkassk : NPI, 1990. – 80 p. (In Russian).
8. Erofeev, N.I. Portal'nye krany : ucheb. posobie dlya mekhanizatorskoj i ekspluatatsionnoj spetsial'nostej vuzov MMF. – Moskva : Rečnoj transport, 1962. – 563 p. (In Russian).
9. Instruksiya po ekspluatatsii portal'nykh kranov «Al'batros» gruzopod"emnost'yu 10/20 t postrojki 1972-1974 g.g. – Moskva: TsRIA «Morflot», 1979. – 124 p. (In Russian).