

2. Skorokhodov D.A., Starichenkov A.L. Printsipy postroeniya sistemy informatsionnoy podderzhki dlya prinyatiya resheniy v avariynyykh situatsiyakh. Morskoe intellektual'nye tekhnologii, 2009, №1(3). – S. 48-56.
3. Karakaev A.B., Lukanin A.V., Khekert E.V. Osnovnye printsipy modelirovaniya i informatsionnoy podderzhki protsessov upravleniya ekspluatatsiyey sudovykh elektroenergeticheskikh sistem (chast' 1). Ekspluatatsiya morskogo transporta. Gos. morskoy universitet im. admirala F.F. Ushakova, Novorossiysk. – 2017. – № 2 (83). – S. 114-122.
4. Polkovnikova N.A., Polkovnikov A.K. Gibridnaya ekspertnaya sistema na osnove veroyatnostno-determinirovannykh modeley dlya glavnogo sudovogo dvigatelya // Ekspluatatsiya morskogo transporta. – 2016, № 2(79). – S. 78-87.
5. Polkovnikova N.A., Polkovnikov A.K. Modeli i algoritmy sistemy podderzhki prinyatiya resheniy dlya glavnogo sudovogo dvigatelya. Ekspluatatsiya morskogo transporta. – 2018. – №3 (88). – S. 86-102.
6. Karetnikov V.V., Pashchenko I.V., Sokolov A.I. Perspektivy vnedreniya bezekipazhnogo sudokhodstva na vnutrennikh vodnykh putyakh Rossiyskoy Federatsii. Vestnik Gos. universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova, SPb. – 2017. T. 9. – № 3. – S. 619-627.
7. Malinovskiy M.A., Foka A.A., Rolinskiy V.I., Vakhrameev Yu.Z. Obespechenie nadezhnosti sudovykh dizeley. – Odessa. FENIKS, 2003. – 150 s.
8. Suvorov P.S. Upravlenie rezhimami raboty glavnykh sudovykh dizeley. – Odessa: LATSTAR, 2000. – 238 s.
9. Zakharov G.V. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya sudovykh dizel'nykh ustanovok. M.: TransLit, 2009. – 256 s.
10. Zhivlyuk G. E., Petrov A.P. Ekspluatatsionnye osobennosti sistem toplivopodachi Common Rail sudovykh dvigateley. Vestnik Gos. universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova, SPb. – 2018. – T. 10. – № 1. – S. 201-220.
11. Solov'ev A. V. Printsipy formirovaniya komp'yuternoy modeli diagnostirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya sudovoy energeticheskoy ustanovki. Vestnik Gos. universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova, SPb. – 2018. – №1(47). – С. 238-251.
12. Bigus G.A. Diagnostika tekhnicheskikh ustroystv / G.A. Bigus, Yu.F. Daniev, I.A. Bystrova, D.I. Galkin – M.: izd. MGTU im. N.E. Baumana, 2014. – 615 s.
13. Ravin A.A., Khrutskiy O.V. Prognozirovanie tekhnicheskogo sostoyaniya oborudovaniya: monografiya – Germany, Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2014. – 141 s.
14. Medvedev V.V. Primenenie imitatsionnogo modelirovaniya dlya obespecheniya nadezhnosti i bezopasnosti sudovykh energeticheskikh ustanovok: monografiya. – SPb.: Strata, 2013. – 352 s.
15. Goloskokov K.P., Chirkova M.Yu. Razrabotka modeli vybora tekhnicheskikh sredstv sudovykh informatsionnykh system. Vestnik Gos. universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova, SPb. – 2017. T. 9. – № 3. – S. 645-654.
16. Gavrilov V.V., Mashchenko V.Yu. Printsipy postroeniya ierarkhicheskogo kompleksa sistem diagnostirovaniya sudovogo dizelya. Vestnik Gos. universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova, SPb. – 2016. – № 3 (37). – S. 155-166.

УДК 53.091; 629.5

DOI: 10.34046/aumsuomt92/27

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ВАЛОПРОВОДОВ МОРСКИХ СУДОВ МОБИЛЬНЫМИ СТАНКАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИНЕЙНОГО ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ШАГОВОГО ПРИВОДА

Е.Н. Сюсюка, кандидат технических наук

В статье предлагается обоснование использования малогабаритных мобильных станков и способа вращения валов при обработке, а так же использование в качестве привода подачи электрогидравлический шаговый привод.

Ключевые слова: гребной вал, валопровод, дефекты, токарная обработка, мобильный станок, базирование станка.

The article proposes a justification for the use of small-sized mobile machines and the method of shaft rotation during processing, and the use of an electrohydraulic stepper drive as a feed drive.

Key words: propeller shaft, shaft, defects, turning, mobile machine, machine basing.

Как известно, в процессе эксплуатации в валопроводах морских и речных судов возникают усталостные трещины, язвенная коррозия и другие дефекты, отрицательно влияющие на надеж-

ность и срок эксплуатации этих важных и динамически нагружаемых деталей судов. [2] Для своевременного обнаружения зарождающихся трещин производят магнитную, ультразвуковую и другие виды дефектоскопии. Затем в случае

необходимости ремонта гребного вала или его деформации, вал устанавливают на токарный станок по базовым нерабочим поверхностям конуса, шеек и фланца и при необходимости восстанавливают: протачивают до устранения рисок и выработки, ослабленный проточкой наплавляют, выполняют поверхностное пластическое деформирование. [3]

С целью ремонта гребных валов крупнотоннажных морских судов для проточки и обкатки, предложено использовать переносной малогабаритный станок, который используют для токарных обработок рабочих поверхностей качения цементных мельниц и других технологических барабанов [1]. При этом работы могут быть выполнены не в цехе СРЗ, а на судне. Все технологические расчеты по определению режимов резания операции точения и поверхностно-пластическое деформирование (ППД) будут выполняться по тем же программам, что и на стационарных станках, но с ограничением по мощности станка, которая у мобильного станка существенно меньше. В работе [1] приведена схема вращения секции валопровода и особенности установки мобильного станка относительно обрабатываемой детали.

Так как оборудование такого типа не имеет собственной станины и базируется на элементах опор ремонтируемого вала, либо на самой обрабатываемой поверхности, при обработке детали и базировании станка требуется геометрическая настройка станка – установка параллельности траектории перемещения вершины резца и оси обрабатываемой детали. Точность обработки обеспечивается совмещением прямолинейной и кольцевой образующих линий цилиндрического тела вращения, использованием оси вращения детали в качестве технологической базы при установке мобильного станка, что вместе с использованием собственного вращения обрабатываемой

детали определяет его конструктивное исполнение.

Встраиваемыми станками может реализоваться как точение, так и шлифование, а при наличии фрезерной головки и фрезерование валопровода. Приводы подач встраиваемых станков, оснащаемых ЧПУ должны осуществлять механическое формообразующее движение в соответствии с информацией на входе и передавать, а также преобразовывать энергию для этого движения. Условия работы приводов подач станков определяются особенностью процесса резания [4, 5]. Вращение валопровода с окружной скоростью v будет при точении главным движением, а при фрезеровании и шлифовании – движением подачи. При этом для устранения эффекта размножения погрешности при биениях валопровода суппорт должен отводиться и затем возвращаться в заданное положение по сигналам системы управления. Для этого он должен иметь достаточное быстродействие. Привод должен обеспечить скорость отвода не более

$$v_{non} = v \cdot \operatorname{tg}(\arccos(1 - H/R)) \quad (1)$$

где H – величина единичной впадины (или выступа), R – радиус валопровода.

Процессы, происходящие при точении, имеют, как правило, плавный характер. Тем не менее, наличие следа от предыдущего прохода, трещин, разнородности материала поверхности качения могут вызывать силовые воздействия типа ступенчатых или гармонических.

На рис. 1 представлены круглограммы [6], которые характеризуют погрешность геометрической формы - отклонение от круглости изношенной базовой поверхности цилиндрической крупногабаритной детали - диаметром 6000 мм (рис. 1, а) и 3000 мм (рис. 1, б). Как видно из круглограмм, отклонение от круглости составляет в первом 7 мм, а во втором – 11 мм.

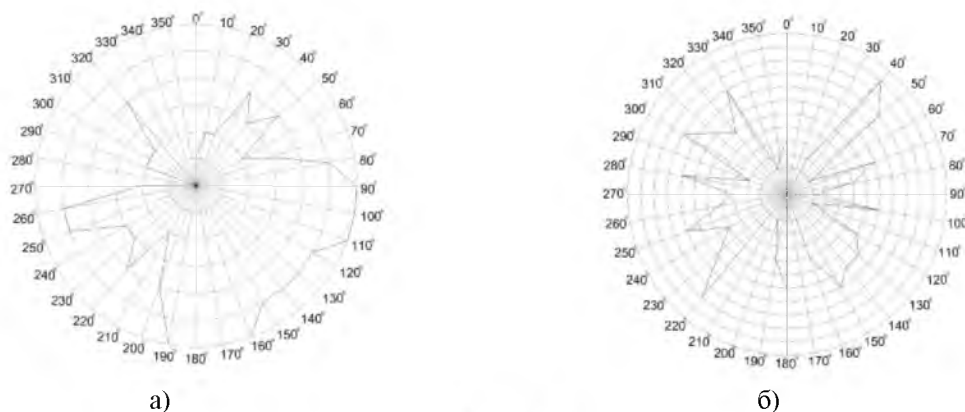


Рисунок 1 – Круглограммы исходных контуров цилиндрической детали

Ближайшие неровности в виде пиков отстоят друг от друга на угловом расстоянии до 200. Таким образом, возможная частота изменения усилия или поперечной подачи при точении поверхности качения валопровода составит не менее 0,8 Гц.

Там же приведены колебания силы резания при обработке цилиндрической детали диаметром 6000 мм (рис. 2).

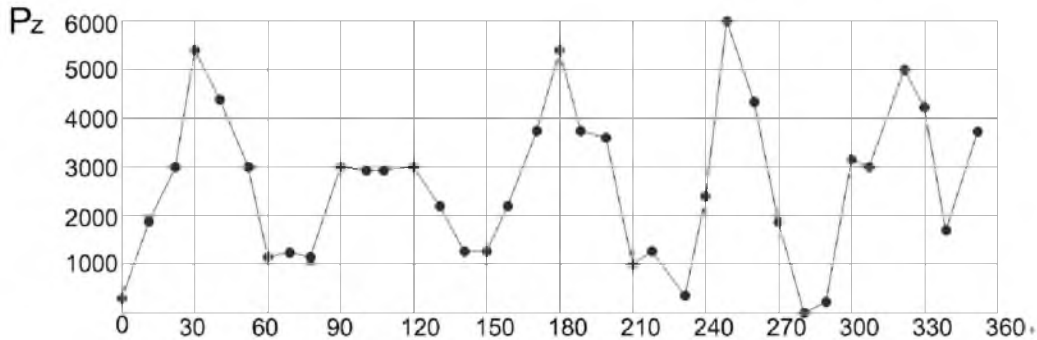


Рисунок 2 – Колебания силы резания Pz за один оборот цилиндрической детали

При обработке цилиндрической детали Ø3600 мм приходилось устранять «волну» по окружному профилю с периодом порядка 141 мм и амплитудой 1,5 мм, что соответствовало периодическим воздействиям с частотой 3,34 Гц. (при скорости резания 28,26 м/мин -1).

Характеристики возмущающих воздействий на привод подачи при фрезеровании разнообразны и определяются, в основном, режимами резания, диаметром и числом зубьев z_{ϕ} фрезы.

Форма импульса силы от врезания каждого зуба фрезы зависит от многих факторов: типа фрезы, отношения диаметра фрезы к ширине обработки, от угла входа зуба фрезы и пр. Режим нагружения привода подачи по координате зависит от

числа одновременно работающих зубьев. На рис. 3 показаны два наиболее характерных режима нагружения привода подачи по координате [4,7]. Первый представляет собой ряд последовательно действующих импульсов силы R, второй - воздействие, близкое к гармоническому, с постоянной составляющей. Частота возмущающих воздействий определяется как

$$f_a = \frac{n_{\phi} z_{\phi}}{60}, \text{ Гц},$$

где n_{ϕ} - число оборотов фрезы в минуту. Кроме того, биение фрезы может вызвать изменение значений R с частотой $f_{b1} = n_{\phi} / 60$ Гц.

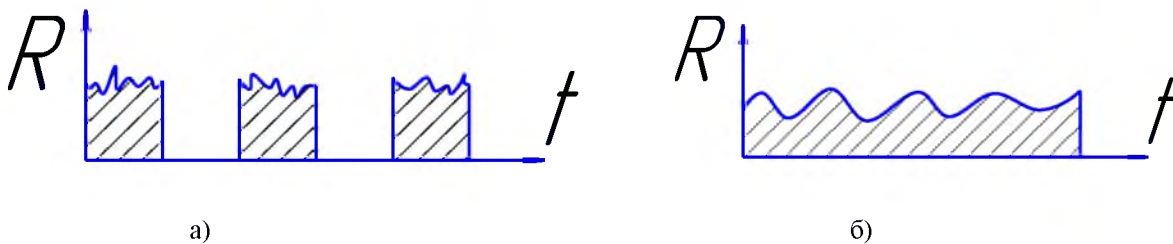


Рисунок 3 – Режимы нагружения приводов подачи при фрезеровании

Аналогичные исследования целесообразно провести и для валопроводов, учитывая их меньшие размеры в диаметре, и особенности технологии обработки [2]. При черновой расточке валопровода снимают металл, оставляя припуск 2,0-3,0 мм на последующие проходы; при чистовой расточке за каждый проход снимают не более 0,3-0,5 мм. Режимы резания различны. Черновая расточка: скорость резания - 15,0-20,0 м/мин, подача - до 1,2 мм/об. Чистовая расточка: скорость резания - 80,0 м/мин, подача - до

1,0 мм/об. К точности расточки предъявляются следующие требования:

- Овальность - не более 0,08 мм/м;
- Конусообразность - не более 0,05 мм на длине растачиваемого пояса;
- Несоосность растачиваемых поясков - до 0,02 L, где L - длина дейтвудной трубы, м;
- Неперпендикулярность подрезки торцов - не более 0,05 мм/м;
- Шероховатость обработанной поверхности R_z должна быть не более 20 мкм.

Динамические явления, происходящие при тчении и фрезеровании поверхностей качения, подразделяются на три типа:

- а) переходные процессы при врезании,
- б) переходные процессы при снятии нагрузки - выхода резца или зуба фрезы,
- в) резонансные процессы, связанные с периодичностью нагружения.

Перегрузки от врезания зуба в механизме привода подачи, в частности, шарико - винтовой паре, имеющей предварительный натяг, могут приводить к раскрытию зазора и к преждевременному износу пар. Последнее ухудшает устойчивость системы и повышает интенсивность колебательных процессов, что еще более увеличивает износ элементов привода и даже приводит к выходу его из строя.

В резонансных режимах условия работы особенно ухудшаются. Опасность резонанса возникает, когда частота управляющего воздействия f_y совпадает с частотой вибраций, обусловленных резанием f_b . Частота последних при фрезеровании находится в пределах $f_b = 2,5 \dots 250$ Гц [8]

В импульсных системах выделяются три режима работы привода в зависимости от частоты управляющих воздействий. При малых частотах обработка осуществляется шагами. К началу нового импульса переходный процесс от предыдущего затухает. При больших управляющих частотах f_y , намного превышающих частоту среза f_{cp} , привод работает как непрерывный. На средних частотах режим работы привода является промежуточным между шаговым и непрерывным. Опыт эксплуатации и исследования станков с численно-программным управлением (ЧПУ) показал, что для устранения резонансных явлений и повышения точности обработки частота среза замкнутой системы привода должна быть $f_{cp} \geq 15$ Гц [7]. Это возможно, если собственная частота механической части привода будет в 3-5 раз выше полосы пропускания $f_{пп}$. Исключение резонансных явлений на частотах $f_y < f_{cp}$ достигается изменением числа оборотов фрезы так, чтобы $f_y \neq f_b$

Так как фрезерование осуществляется многолезвийным инструментом, то переменность площади среза, деформации технологической системы и пр. обуславливают изменение сил резания, близкое к гармоническому. Нагрузки на привод подачи в связи с этим будут носить импульсный, ударный характер. Удары вызывают интенсивные колебания и, как следствие, уменьшение

долговечности деталей привода, стойкости инструмента, ухудшение качества обрабатываемой поверхности.

Помимо сил резания привод всегда нагружен силами трения. Ввиду конечной жесткости элементов привода и разницы в коэффициенте трения движения и покоя в приводе могут возникнуть релаксационные колебания, которые мало сказываются на контурной обработке, хотя и приводят к увеличению износа в кинематических звеньях привода [9]. В связи с тем, что при отработке шагов электрогидравлическим шаговым приводом мгновенная скорость в начале шага во много раз выше средней подачи, то скачки, обусловленные падающей характеристикой трения, практически устраняются.

В соответствии с условиями работы приводов подач сформулированы требования, предъявляемые к их конструкциям. Производительность, точность геометрических размеров обработки, шероховатость поверхности приводы встраиваемых станков с ЧПУ должны обеспечивать при воздействиях ступенчатой и гармонической формы. Суппорт должен обеспечивать обработку бандажа резанием, фрезерованием и шлифованием, которое производится чашечным шлифовальным кругом или абразивной лентой. В качестве исполнительного механизма привода принимается гидроцилиндр в составе линейного электрического шагового привода (ЛЭГШП) с ходом не более 150 мм. Гидроцилиндр может обеспечить высокое быстродействие, что особенно важно при обработке искаженного профиля валопровода. При выборе линейного ЭГШП особое значение приобретают исследование процессов динамики, которые определяют работоспособность привода, точность обработки и быстродействие. В работе [11] проведен анализ структуры и конструктивных особенностей линейных электрогидравлических шаговых приводов станков с ЧПУ и роботов со схемами гидроусилителей. Предпочтение отдавалось управлению шаговыми электродвигателями, которые позволяют достаточно просто реализовать цифровое управление. Одним из основных требований, предъявляемых к гидроусилителям, рассматривалось условие компактности и удобства компоновки на поперечном суппорте. По характеристикам для следящего суппорта встраиваемого станка: давление - 10...20 МПа, развиваемое усилие - 10...20 кН, ход штока - 50...100 мм, дискретность 0,01...0,05 мм; максимальная скорость штока составляет 3,6...4,8 м/мин. Далее представляется необходимым вы-

брать привод с оптимальными параметрами обработки для валопроводов судов в соответствии с технологией ремонта.

Литература

1. Сюсюка Е.Н., Пальчик К.Б., Худяков С.А. Токарная обработка гребных валов крупнотоннажных морских судов мобильными станками // Эксплуатация морского транспорта.– 2018. – №4 – С. 76-79.
2. Баранов В.В. Монтаж, техническое обслуживание и ремонт судовых энергетических установок. – СПб.: Судостроение, 2011. – 352 с., илл.
3. Худяков С.А. Механическая обработка деталей судовых технических средств при восстановлении рабочих поверхностей / С.А. Худяков, К.Б. Пальчик, Е.Н. Сюсюка // Отчет по ГБТ НИР. – Новороссийск, ГМУ им. адм. Ушакова. № ГР АААА-А16-116120810145-2.– 2016. – 76 с.
4. Гречишников В.А., Кожевников Д.В., Кирсанов С.В., Кокарев В.И., Схиртладзе А.Г. Режущий инструмент.– М.: Машиностроение, 2007, 511 с.
5. Гречишников В.А., Схиртладзе А.Г., Чупина Л.А., Пульбере А.И. Формообразующие инструменты в машиностроении.– М.: Новое знание, 2006.– 557
6. Погонин, А.А. Ремонтно-восстановительная обработка поверхностей катания опорных узлов цементных печей мобильными станками / А.А. Погонин, В.Н. Бондаренко, С.Н. Санин, А.Г. Схиртладзе // Ремонт, восстановление, модернизация.– 2005. – № 1 – С. 13-16.
7. Ратмиров В. А., Рашкович П.М., Павлов Ю.А., Дискретный привод подач станков.- М.: НИИ-МАШ, 1975.– 115 с.
8. АС №718634 СССР МКИ F15 B11/12 Шаговый привод/ В.Н.Бондаренко, М.В.Майоров, Л.И. Букина, Рыбинский авиационный технологический институт. – 2547498/25-06.-.Заявл. 24.07.78; опубл. 28.02.80 Бюл.№8 // Открытия. Изобретения.-1980. - №8.С.55
9. Патент на полезную модель № 91746 Российская федерация, МПК F15B21/08. Автоматический шаговый линейный электрогидравлический привод [Текст]/В.Н. Бондаренко, Е.Н. Сюсюка, В.Г. Рубанов, В.Г. Михайлов; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г.Шухова.-№2009139498/22 заявл.26.10.2009; опубл. 27.02.2010, Бюл. № 6. – 1с.
10. Бондаренко В.Н Сюсюка Е.Н., Барчук И.А.. Анализ гидроусилителей линейных электрогидравлических приводов для поперечных суппортов встраиваемых станков // Научно-теоретический журнал Вестник БГТУ имени В.Г.Шухова.– 2008.- №1.
11. Сюсюка Е.Н. Совершенствование технологии обработки поверхностей качения опорных узлов цементных печей с применением линейного электрогидравлического шагового привода: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Белгородский государственный

технологический университет им. В.Г. Шухова.– Белгород, 2011.

12. Кондратьев С.И. Теоретические основы управления крупнотоннажными судами по критериям безопасности и энергосбережения: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук.– Новороссийск, 2004.
13. Каракаев А.Б., Луканин А.В., Хекерт Е.В. Разработка методологии, методов и моделей анализа влияния различных вариантов построения структуры и режимов поддержания и восстановления работоспособности судовых электроэнергетических систем (часть 1) // Эксплуатация морского транспорта.– 2016.– № 3(80).– С.54-60.

REFERENCES

1. Syusyuka E.N., Pal'chik K.B., Hudyakov S.A. Tokamaya obrabotka grebnyh valov krupnotonnazhnyh morskikh sudov mobil'nymi stankami. – Ekspluatatsiya morskogo transporta.- 2018. - №4 – S. 76-79.
2. Baranov V.V. Montazh, tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont sudovyh energeticheskikh ustanovok. – SPb.: Sudostroenie, 2011. – 352s., ill.
3. Hudyakov S.A. Mekhanicheskaya obrabotka detalej sudovyh tekhnicheskikh sredstv pri vosstanovlenii rabochnih poverhnostej / S.A. Hudyakov, K.B. Pal'chik, E.N. Syusyuka // Otchet po GBТ NIR. – Novorossiysk, GMU im. adm. Ushakova. № GR АААА-А16-116120810145-2. 2016. – 76 s.
4. Grechishnikov V.A., Kozhevnikov D.V., Kirsanov S.V., Kokarev V.I., Skhirtladze A.G. Rezhushchij instrument. M.: Mashinostroenie, 2007, 511 s.
5. Grechishnikov V.A., Skhirtladze A.G., Chupina L.A., Pul'bere A.I. Formoobrazuyushchie instrumenty v mashinostroenii. M.: Novoe znanie, 2006, 557
6. Pogonin, A.A. Remontno-восстановitel'naya obrabotka poverhnostej kataniya opornyh uzlov cementnyh pechej mobil'nymi stankami / A.A. Pogonin, V.N. Bondarenko, S.N. Sanin, A.G. Skhirtladze. – Ремонт, восстановление, modernizatsiya, 2005. – № 1 – S. 13-16.
7. Ratmirov V A., Rashkovich P.M., Pavlov YU.A., Diskretnyj privod podach stankov, M., NIIMASH, 1975, 115 s .
8. AS №718634 SSSR MКИ F15 B11/12 SHagovyy privod/ V.N.Bondarenko, M.V Majorov, L.I. Bukina, Rybinskij aviacionnyj tekhnologicheskij institut. – 2547498/25-06.-.Zayavl. 24.07.78; opubl. 28.02.80 Byul.№8 // Otkrytiya. Izobreteniya.-1980. - №8.S.55
9. Patent na poleznuyu model' № 91746 Rossijskaya federatsiya, MPK F15B21/08. Avtomaticheskij shagovyy linejnyj elektrogidravlicheskiy privod [Tekst]/V.N. Bondarenko, E.N. Syusyuka, V.G. Rubanov, V.G. Mihajlov; zayavitel' i patentoobladatel' BGТУ im. V.G.SHuhova.- №2009139498/22 zayavl.26.10.2009; opubl. 27.02.2010, Byul. № 6. – 1s.: il.

10. Bondarenko V.N Syusyuka E.N., Barchuk I.A.. Analiz gidrosilitelej linejnyh elektrogidravlicheskih privodov dlya poperechnyh supportov vstraivaemyh stankov. Nauchno-teoreticheskij zhurnal Vestnik BGTU imeni V.G.SHuhova, №1, 2008g
11. Syusyuka E.N. Sovershenstvovanie tekhnologii obrabotki poverhnostej kacheniya opornyh uzlov cementnyh pechej s primeneniem linejnogo elektrogidravlicheskogo shagovogo privoda. Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskix nauk / Belgorodskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet im. V.G. SHuhova. Belgorod, 2011.
12. Kondrat'ev S.I. Teoreticheskie osnovy upravleniya krupnotonnazhnymi sudami po kriteriyam bezopasnosti i energosberezheniya//
- Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskix nauk.- Novorossiysk, 2004.
13. Karakaev A.B., Lukanin A.V., Hekert E.V. Razrabotka metodologii, metodov i modelej analiza vliyaniya razlichnyh variantov postroeniya struktury i rezhimov podderzhaniya i vosstanovleniya rabotosposobnosti sudovyh elektroenergeticheskix sistem (chast' 1). Eksploataciya morskogo transporta. 2016. № 3(80). S.54-60.

УДК 629.12.001.2: 656.66
DOI: 10.34046/aumsuomt92/28

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА И ПЫЛЕВОГО ПОТОКА ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ С ПЫЛЕЗАБОРНОЙ СТЕНКОЙ

*Н.С. Отделкин, доктор технических наук, профессор,
Е.И. Адамов, кандидат технических наук, доцент
С.Н. Сикарев, кандидат технических наук, доцент
С.Г. Смирнов, аспирант*

В статье рассматривается математической модели для исследования динамики изменения характера взаимодействия воздушного потока и пылевого потока при столкновении с пылезаборной стенкой. Математическое моделирование поведения воздушных потоков на территории портового открытого угольного склада даст представление о динамике поведения угольной пыли. Это позволит более точно учитывать все метеорологические особенности обдувания: скорость ветра, высотное распределение скоростей, турбулизация потока, различные геометрические параметры складов. В результате численной реализации этой модели методом контрольного объема мы получаем возможность анализировать структуру потока, обтекающего угольный склад и сделать выводы о характере пылеобразования, отрыва частиц угольной пыли, смещения частиц угольной пыли.

Ключевые слова: угольная пыль, открытый угольный склад, пыление сыпучего груза, математическая модель

The article deals with a mathematical model to study the dynamics of changes in the nature of the interaction of air flow and dust flow in a collision with a dust intake wall. Mathematical modeling of the behavior of air flows on the territory of the port open coal warehouse will give an idea of the dynamics of the behavior of coal dust. This will allow more accurately take into account all the meteorological features of blowing: wind speed, altitude distribution of velocities, turbulence, various geometric parameters of warehouses. As a result of the numerical implementation of this model by the control volume method, we are able to analyze the structure of the flow flowing around the coal warehouse and draw conclusions about the nature of dust formation, separation of coal dust particles, displacement of coal dust particles.

Keywords: coal dust, open coal warehouse, bulk cargo dusting, mathematical model

Введение

Большинство морских портов расположено в черте населенных пунктов в непосредственной близости от жилых кварталов, а многие их жители работают в самом порту или на других предприятиях и объектах морского транспорта, загрязнение окружающей среды в зоне влияния порта повышает возможный риск для здоровья населения вследствие двойного воздействия вредных факторов – как на производстве, так и на селитебной территории.

Угольная пыль, являясь в чистом виде химически инертной, при длительном воздействии на организм человека приводит к возникновению хронических пылевых заболеваний легких.

Пыль является серьезной проблемой для портов, производящих перевалку угля, и для их окрестностей. Портовикам приходится прилагать немалые усилия, чтобы сдерживать распространение пыли.

Исследование динамики изменения характера взаимодействия воздушного потока и пылевого потока