

УДК (UDC) 629.083

ОЦЕНКА ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ НА АВАРИЙНОСТЬ КРАНОВ

ASSESSMENT OF MUTUAL INFLUENCE OF FACTORS ON CRANE EMERGENCY

Сладкова Л.А., Крылов В.В., Неклюдов А.Н.
Sladkova L.A., Krylov V.V., Neklyudov A.N.Российский университет транспорта (Москва, Россия)
Russian University of Transport (Moscow, Russian Federation)

Аннотация. В статье предложена методика оценки комплексного влияния значимых факторов на отказы кранов, взаимосвязь между которыми представлена в виде кинетической системы, изменяющейся во времени в зависимости от изменения любого действующего фактора. Накопленный статистический материал аварий на кранах различного вида являются исходными данными при проведении исследований для оценки совокупного влияния различных факторов на работоспособность кранового оборудования. Предлагаемая методика позволяет учесть интенсивность изменения факторов. При этом учитывается кинематическое состояние действующих факторов, которое определяется скоростью изменения каждого внешнего фактора в зависимости от действующих на нее взаимосвязанных с ним факторов. Результаты оценки отказов кранов по предлагаемой методике не противоречат исследованиям других авторов и позволяют оценить интенсивность взаимного влияния факторов друг на друга. Предлагаемая методика может быть рекомендована для оценки влияния факторов различного характера во многих областях знаний и науки, например, в рискологии, теории надежности и т.п.

Ключевые слова: строительные краны, взаимное влияние факторов, кинетическая модель, отказ.

Дата принятия к публикации: 06.05.2020
Дата публикации: 25.09.2020

Сведения об авторах:

Сладкова Любовь Александровна – доктор технических наук, профессор, профессор кафедр «Наземные транспортно-технологические средства», РУТ (МИИТ), e-mail: rich.cat2012@yandex.ru.

Крылов Вадим Викторович – аспирант кафедр «Наземные транспортно-технологические средства», Российский университет транспорта (МИИТ), e-mail: vadimkrylov96@yandex.ru.

Неклюдов Алексей Николаевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедр «Наземные транспортно-технологические средства», Российский университет транспорта (МИИТ), e-mail: neklyudov.an@gmail.com.

Abstract. Existing methods of assessing the influence of factors allow to determine this influence indirectly without taking into account the speed (intensity) of their influence and the relationship between them. The article proposes a method of assessing the complex impact of significant factors on the failures of cranes, the relationship between which is presented in the form of a kinetic system, changing over time depending on the change of any active factor. The accumulated statistical material of accidents on cranes of different kinds are the initial data in the conduct of studies to assess the cumulative effect of various factors on the performance of crane equipment. The proposed methodology will take into account the intensity of the changes in factors associated with their change. This takes into account the kinematic state of the current factors, which is determined by the speed of change of each external factor, depending on the related factors acting on it. The results of the evaluation of crane failures under the proposed methodology do not contradict the studies of other authors and allow to assess the intensity of mutual influence of factors on each other. The proposed methodology may be recommended to assess the impact of factors of different nature in many areas of knowledge and science, such as riskology, reliability theory, etc.

Keywords: construction cranes, mutual influence of factors, kinetic model, failure.

Date of acceptance for publication: 06.05.2020
Date of publication: 25.09.2020

Authors' information:

Lyubov A. Sladkova – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department “Ground Transportation and Technological Facilities”, Russian University of Transport (MIIT), e-mail: rich.cat2012@yandex.ru.

Vadim V. Krylov – Postgraduate of Department “Ground Transportation and Technological Facilities”, Russian University of Transport (MIIT), e-mail: vadimkrylov96@yandex.ru.

Aleksey N. Neklyudov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of “Department of Ground Transportation and Technological Facilities”, Russian University of Transport (MIIT), e-mail: neklyudov.an@gmail.com.

1. Введение

Выбор рациональных эксплуатационных параметров работы крановой конструкции с учетом ветровых нагрузок и других воздействий способствует снижению эксплуатационных затрат и повышению ее безопасности.

Учету влияния различных факторов на работоспособность конструкции посвящены труды [4 - 10]. Для этих целей авторы используют различные способы и методы:

- ранговый анализ;
- метод экспертной оценки;
- выбор на основе обобщенного критерия;
- выбор с помощью искусственного отношения предпочтения;
- человеко-машинные процедуры выбора;
- использование свойств отношения предпочтения;
- сужение множества Парето при помощи «квантов информации» и т.п.

Современным направлением при оценке или прогнозировании работоспособности конструкции является оценка влияния факторов с использованием динамического планирования в условиях неопределенности, которое авторами в [1 - 3] рассматривается как функция интеллектуальных систем управления автономных летательных аппаратов.

Накопленный статистический материал аварий на кранах различного вида и предлагаемые методики расчета, позволяющие учитывать метеоусловия (скорость ветра и его направление), являются исходным материалом при проведении исследований для оценки совокупного влияния различных факторов на работоспособность кранового оборудования. Предлагаемая методика позволяет учесть интенсивность изменения факторов.

В работах и патентах [11 - 18] предлагаются различные способы управления этими факторами, используя своеобразные интеллектуальные системы в виде датчиков различного вида и механизмов, обеспечивающих безопасную работу кранов.

Предлагаемая методика позволяет учесть влияние факторов в зависимости от скорости их изменения и выявить уровень значимости факторов для выбора направления исследований в области устойчивости кранов.

Метод исследования процедур коллективного выбора, позволяющий провести сравнительный анализ по ряду характеристик, влияющих, на эффективность их использования в экстраполяции экспертных оценок приведен в [7]. Анализ принятия решений предлагается проводить с позиций истинной полезности, а эксперт дает оценку, которая принимается за случайную величину. При этом ограничение исключает совпадение полезности двух и более альтернатив.

В [6] предлагается выполнять оценку различных критериев по неограниченному числу показателей, которое определяет для себя машиностроительное предприятие, и присваивать показателям весовые коэффициенты значимости. Для оценки предлагается использовать качественные показатели, что позволяет определять очередность передачи функций, т.е. выделять из всех рассматриваемых те, которые требуют передачи на аутсорсинг в первую очередь. Другими словами, определять значимость факторов. На наш взгляд предлагаемая методика мало чем отличается от методики рангового анализа влияния событий, предложенной в [10].

В [10] взаимное влияние факторов предлагается оценивать по формуле

$$y = b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n, \quad (1)$$

где b_i – коэффициенты, характеризующие уровень значимости факторов; x_i – факторы, оказывающие влияние на устойчивость кранов.

Предложенная выше зависимость не позволяет выявить физическую природу процессов, протекающих перед отказом, и учесть взаимное влияние факторов.

2. Постановка задачи

Существующие ранее методики оценки влияния факторов позволяли определять их косвенно, без учета скорости (интенсивности) их влияния и взаимосвязи между ними. На данном этапе целью исследований является разработка методики оценки и взаимного влияния факторов различного характера на устойчивость крановых конструкций. Предлагаемая методика может быть рекомендована для оценки влияния факторов различного характера во многих областях

знаний и науки, например, в рискологии, теории надежности и т.п.

3. Методика оценки значимых факторов, влияющих на устойчивость крановых конструкций

В [22] было установлено, что значимые факторы аварийности кранов можно классифицировать в зависимости от характера их возникновения:

- 1) техногенного (неисправность устройств, приборов безопасности);
- 2) природного (ураган, шквалистый ветер);
- 3) организационного (нарушение технологической и трудовой дисциплины, неправильные действия персонала, несвоевременная регистрация подъемных средств и.п.);
- 4) человеческого фактор (несоблюдение норм безопасности, непрофессионализм);
- 5) эксплуатационного (перегруз, выполнение погрузочно-разгрузочных работ на слабонесущих грунтах, нарушение правил эксплуатации кранов при производстве работ);
- б) состояние опорной поверхности (слабонесущие грунты).

Очевидна тесная корреляционная связь между факторами 3 и 5, которые во многом определяются отношением к работе, т.е. эти факторы можно объединить с фактором 4.

Взаимосвязь между факторами, оказывающими влияние на отказы кранов, представим в виде графа (рис. 1), который является кинетической системой, изменяющейся во времени и который в фиксированный момент времени находится в равновесном состоянии.

Из рис. 1 видно, что фактор 1 связан с факторами 2 и 3, оказывающими влияние на состояние (отказы) крана. Каждый из указанных факторов имеет как минимум две связи с другими факторами, влияние которых имеет определенную скорость.

Таким образом, кинематика схемы на рис. 1 объясняется скоростью изменения каждого внешнего фактора в зависимости от действующих на нее взаимосвязанных с ним факторов. Предложенный график связи позволяет построить физико-математическую модель,

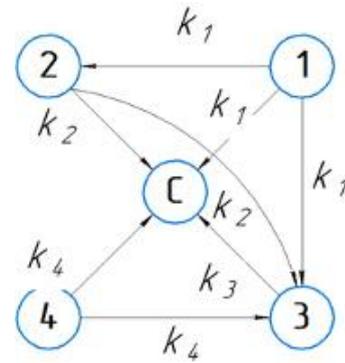


Рис. 1. Граф взаимодействия значимых факторов: C – отказ крана; 1 – природного характера; 2 – состояния основания (грунта); 3 – техногенный фактор; 4 – человеческий фактор

позволяющую оценить состояние системы в произвольный промежуток времени в зависимости от изменения сопутствующих факторов за этот же промежуток времени.

Предлагаемая ниже методика построения физико-математической модели позволит качественно и количественно оценить аварийность (отказ) крана в зависимости от взаимосвязи действующих на него факторов. Факторы, влияющие на отказы кранов, изложены в [22].

Представим взаимное влияние каждого фактора линеаризованной функцией $n_i(t)$, изменяющейся во времени с определенной скоростью $\dot{n}_i(t)$. Интенсивность влияния каждого фактора определяется коэффициентом k_i , значения которого определяются экспериментально, например, по величине среднеквадратического отклонения.

Первая производная фактора n_i характеризует скорость его изменения и действует на связанный с ним фактор k_i , который является постоянной величиной.

Так как вся система равновесна, то влияние фактора не выведет систему из состояния равновесия. Поэтому для решения представленной задачи используем метод вырезания узлов [23].

Например, скорость влияния первого фактора n_1 на остальные факторы 2, 3 и C системы может происходить с одинаковой интенсивностью, определяемой коэффици-

ентом k_1 . Считаем, что если фактор выходит из системы, то ему присваивается знак "-", а если входит, то знак "+". Очевидно, что размерность коэффициента k_1 измеряется числом отказов в единицу времени, т.е. в $[с^{-1}]$.

Тогда скорость изменения фактора n_1 можно записать дифференциальным уравнением первого порядка:

$$\dot{n}_1 = -(k_1 + k_1 + k_1)n_1 = -3k_1n_1. \quad (2)$$

Исследуя весь граф (рис. 1), запишем систему уравнений:

$$\begin{cases} \dot{n}_1 = -3k_1n_1 \\ \dot{n}_2 = -2k_2n_2 + k_1n_1 \\ \dot{n}_3 = -k_3n_3 + k_4n_4 + k_1n_1 \\ \dot{n}_4 = -2k_4n_4 \\ \dot{c} = k_2c + k_1c + k_3c + k_4c \end{cases} \quad (3)$$

Решим первое уравнение системы уравнений (3):

$$\begin{aligned} \dot{n}_1 = -3k_1n_1 &\Rightarrow \\ \Rightarrow \frac{dn_1}{dt} = -3k_1n_1 &\Rightarrow \\ \Rightarrow \frac{dn_1}{n_1} = -3k_1dt &. \\ \ln|n_1| = -3k_1t &\Rightarrow \\ \Rightarrow n_1 = n_{10}e^{-3k_1t}, & \end{aligned} \quad (4)$$

где n_{10} – коэффициент, зависящий от граничных условий изменения скорости ветра (пульсации), изменяющегося во времени t .

Определим граничные условия для оценки величины n_{10} .

При $t = 0$ величину коэффициента n_{10} можно принять равным 1, так как в фиксированный момент времени скорость изменения ветра является фиксированной величиной. При рассмотрении временного тренда эта величина имеет функциональную зависимость, которую можно определить по методике.

Для решения второго уравнения системы уравнений (3) используем метод конформных преобразований Лапласа [24]:

$$\dot{n}_2 = -2k_2n_2 + k_1n_1. \quad (5)$$

Проведем разделение переменных, представив уравнение (5) в виде:

$$\dot{n}_2 + 2k_2n_2 = k_1n_1. \quad (6)$$

Представим функцию n_2 в виде отображенной функции:

$$n_2(t) \doteq \varphi_2(p), \quad (7)$$

где $\varphi_2(p)$ – отображенная функция.

Тогда фактор n_1 , используя уравнение (4), представим в виде функции $\varphi_1(p)$:

$$e^{-3k_1t} \doteq \varphi_1(p). \quad (8)$$

Откуда, используя таблицу преобразований [24], представим выражение (8) в виде:

$$\varphi_1(p) = \frac{1}{p + 3k_1}. \quad (9)$$

Подставив выражения (8) и (9) в уравнение (5), получим:

$$\dot{n}_2 \doteq p\varphi_2(p) + pn_{20} = p\varphi_1(p). \quad (10)$$

Или после преобразования будем иметь:

$$p\varphi_2(p) + 2k_2\varphi_2(p) = \frac{k_1}{p + 3k_1}. \quad (11)$$

Откуда:

$$\begin{aligned} \varphi_2(p)(p + 2k_2) &= \frac{k_1}{p + 3k_1} \Rightarrow \\ \Rightarrow \varphi_2(p) &= \frac{k_1}{(p + 3k_1)(p + 2k_2)} \end{aligned} \quad (12)$$

Вернемся к оригиналу и получим решение исходного дифференциального уравнения:

$$\begin{aligned} n_2 &= \frac{k_1}{-2k_2 + 3k_1} e^{-2k_2t} + \\ &+ \frac{k_1}{-3k_1 + 2k_2} e^{-3k_1t} = \\ &= \frac{k_1}{(3k_1 - 2k_2)} (e^{-2k_2t} - e^{-3k_1t}) \end{aligned} \quad (13)$$

Анализ уравнения (13) показывает, что фактор n_2 зависит от интенсивности изменения факторов природного характера. Очевидно влияние осадков и температуры среды в течение года на изменение основания при работе крановой конструкции на слабонесущих грунтах. Это уравнение имеет место при значении величин $k_2 \neq 1,5k_1$, что характерно для грунтов с весовой влажностью, лежащей в пределах текучести или на мерзлых грунтах.

Решение четвертого уравнения системы уравнений (3) о выявлении человеческого фактора проводим аналогично первому уравнению. Изменение фактора n_4 во времени будет иметь вид:

$$n_4 = e^{-2k_4t}. \quad (14)$$

Изменение данного фактора при выбранном допущении взаимного влияния факторов зависит только от самого человека, его дисциплинированности, выполнения должностных обязанностей в соответствии с требова-

ниями, предписанными инструкциями и нормативами.

Для нахождения влияния техногенного фактора рассмотрим третье дифференциальное уравнение системы уравнений (3). В общем случае представим его в виде:

$$\frac{dn_3}{dt} = -k_3 n_3 + k_4 n_4 + k_1 n_1. \quad (15)$$

Решение будем проводить аналогично решению второго уравнения системы (3).

Пусть

$$n_3(t) \doteq \varphi_3(p), \quad (16)$$

$$n_4(t) \doteq \varphi_4(p), \quad (17)$$

$$n_1(t) \doteq \varphi_1(p), \quad (18)$$

тогда первая производная, характеризующая влияние техногенного фактора, будет иметь вид:

$$\dot{n}_3(t) = p\varphi_3(p). \quad (19)$$

Ранее было получено:

$$\varphi_1(p) = \frac{1}{p + 3k_1}, \quad (20)$$

$$\varphi_4(p) = \frac{1}{p + 2k_4}.$$

После преобразования выражения (15) будем иметь:

$$p\varphi_3(p) + k_3\varphi_3(p) - k_4\varphi_4(p) = \frac{1}{p + 3k_1}. \quad (21)$$

Откуда

$$\varphi_3(p)(p + k_3) - k_4\varphi_4(p) = \frac{1}{p + 3k_1}. \quad (22)$$

Для четвертого фактора получим:

$$\begin{aligned} \varphi_3(p) &= \\ &= \frac{k_1}{(p + 3k_1)} + \frac{k_1}{(p + 3k_1)(p + 2k_4)} = \\ &= \frac{1}{(p + k_3)} + \\ &= k_1 \frac{1}{(p + 3k_1)(p + k_3)} + \\ &+ \frac{1}{(p + 3k_1)(p + 2k_4)(p + k_3)}. \end{aligned} \quad (24)$$

Возвращаясь к оригиналу, получим решение исходного уравнения, подставив выражения (22) и (23) в формулу (21).

Решение уравнения (24) будем искать для первого слагаемого в правой части уравнения и для второго слагаемого второй части уравнения.

Для первого слагаемого величина фактора n_3 будет равна:

$$n_{3_1}(t) = \frac{k_1}{(-k_3 + 3k_1)} e^{-k_3 t} + \frac{k_1}{(-3k_1 + k_3)} e^{-3k_1 t}. \quad (25)$$

Для второго слагаемого величина фактора n_3 будет равна:

$$n_{3_2}(t) = \frac{k_1}{(p + 3k_1)(p + 2k_4)(p + k_3)}. \quad (26)$$

Решение исходного уравнения (26) при переходе к оригиналу представим в виде:

$$n_{3_2}(t) = Ae^{at} + Be^{bt} + Ce^{ct}. \quad (27)$$

Здесь [25]:

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{(2k_4 - k_3)(3k_1 - k_3)}, \\ B &= \frac{1}{(k_3 - 2k_4)(3k_1 - 2k_4)}, \\ C &= \frac{1}{(k_3 - 3k_1)(2k_4 - 3k_1)}, \\ a &= -k_3, \\ b &= -2k_4, \\ c &= -3k_1. \end{aligned} \quad (28)$$

Тогда:

$$n_3(t) = \frac{e^{-k_3 t}}{(2k_4 - k_3)(3k_1 - k_3)} + \frac{e^{-2k_4 t}}{(k_3 - 2k_4)(3k_1 - 2k_4)} + \frac{e^{-3k_1 t}}{(k_3 - 3k_1)(2k_4 - 3k_1)}. \quad (29)$$

Пятое уравнение системы уравнений (3) в общем случае представим его в виде:

$$\frac{dc}{dt} = k_2 c + k_1 c + k_3 c + k_4 c. \quad (30)$$

Разделив обе части уравнения (16) на правую часть, получим:

$$\frac{dc}{c} = (k_1 + k_2 + k_3 + k_4) dt \quad (31)$$

Откуда

$$\ln|c| = (k_1 + k_2 + k_3 + k_4)t \\ c = e^{(k_1 + k_2 + k_3 + k_4)t} \quad (32)$$

Полученные факторы, влияющие на состояние крановых конструкций, представлены ниже:

$$n_1 = n_{10} e^{-3k_1 t} \quad (33)$$

$$n_2 = \frac{k_1}{(3k_1 - 2k_2)} (e^{-2k_2 t} - e^{-3k_1 t}). \quad (34)$$

$$n_3(t) = \frac{e^{-k_3 t}}{(2k_4 - k_3)(3k_1 - k_3)} + \frac{e^{-2k_4 t}}{(k_3 - 2k_4)(3k_1 - 2k_4)} + \frac{e^{-3k_1 t}}{(k_3 - 3k_1)(2k_4 - 3k_1)} \quad (35)$$

$$n_4 = e^{-2k_4 t} \quad (36)$$

$$c = e^{(k_1 + k_2 + k_3 + k_4)t} \quad (37)$$

4. Результаты и их анализ

Уравнения (33) и (36), характеризующие влияние факторов природного характера и человеческого фактора на аварии крановых конструкций, свидетельствует об экспоненциальном законе распределения. Их изменение оценивается только одним показателем – интенсивностью, которая может характеризоваться количеством осадков, силой ветра или состоянием самого человека. Хотя фактор (36) по данным медицинских исследований во многом зависит от метеорологических условий. Для условий работоспособности крановых конструкций это положение требует дополнительных исследований.

Изменение несущей способности грунта, являющееся одной из основных причин оп-

рокидывания кранов в процессе работы, зависит от природного фактора (количества осадков, землетрясения и пр.) и самих свойств грунта.

Фактор техногенного характера зависит от интенсивности изменения факторов природного характера, состояния конструкции и состояния обслуживающего персонала.

Полученное уравнение (37) показывает, что отказы крановых конструкций подчиняются экспоненциальному закону, что не противоречит известным данным.

5. Заключение

Проведенные исследования позволили выявить характер взаимного влияния рассматриваемых факторов друг на друга и получить теоретические зависимости, позволяющие оценить это влияние количественно с учетом интенсивности их воздействия.

Предлагаемая методика оценки и взаимного влияния факторов различного характера на устойчивость крановых конструкций может быть рекомендована для использования рискологии и теории надежности.

Список литературы

1. Kothari M., Postlethwaite I. A probabilistically robust path planning algorithm for UAVs using rapidly-exploring random trees // *Journal of Intelligent & Robotic Systems*. 2013. Vol.71. No.2. P. 231-253.

2. Allgeuer P., Behnke S. Hierarchical and state-based architectures for robot behavior planning and control // *Proceedings of 8th Workshop on Humanoid Soccer Robots, IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots*. Atlanta. 2013.

3. Xavier J.A., Selvakumari S.R. Behavior architecture controller for an autonomous robot navigation in an unknown environment to perform a given task // *International Journal of Physical Sciences*. 2015. Vol.10. P. 182-191.

4. Подиновский В.В. Аксиоматическое решение проблемы оценки важности критериев в многокритериальных задачах при-

References

1. Kothari M., Postlethwaite I. A probabilistically robust path planning algorithm for UAVs using rapidly-exploring random trees. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 2013, Vol.71, No.2, pp. 231-253.

2. Allgeuer P., Behnke S. Hierarchical and state-based architectures for robot behavior planning and control. *Proceedings of 8th Workshop on Humanoid Soccer Robots, IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots*, Atlanta, 2013.

3. Xavier J.A., Selvakumari S.R. Behavior architecture controller for an autonomous robot navigation in an unknown environment to perform a given task. *International Journal of Physical Sciences*, 2015, Vol.10, pp. 182-191.

4. Podinovskiy V.V. Aksiomaticeskoe resheniye problemy otsenki vazhnosti kriteriyev v mnogokriterialnykh zadachakh prinya-

нения решений // Современное состояние теории исследования операций. М.: Наука, 1979. С. 117-145.

5. Ногин В.Д. Проблема сужения множества Парето: подходы к решению // Искусственный интеллект и принятие решений. 2008. № 1. С. 98 –112.

6. Бугаев Ю.В. Экстраполяция экспертных оценок в оптимизации технологических систем // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2003. № 3. С. 90-96.

7. Бугаев Ю.В., Миронова М.С., Никитин Б.Е. Вероятностный метод анализа процедур построения коллективных экспертных оценок // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2011. № 2. С. 130-135.

8. Демиденко Е.З. Линейная и нелинейная регрессии. М.: Финансы и статистика, 1981. 302 с.

9. Бабаян М.К. Моделирование адаптивной процедуры коллективного выбора на основе экстраполяции экспертных оценок: дисс. ... канд. физ.-мат. наук. Воронеж: ВГУИТ, 2015. 136 с.

10. Зорин В.А. Основы долговечности строительных и дорожных машин. М.: Машиностроение, 1986. 248 с.

11. Лагереv И.А. Развитие элементов теории проектирования и моделирования манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин: дисс. ... д-ра техн. наук по спец. 05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин. М., 2017. 409 с.

12. Лагереv А.В., Лагереv И.А. Влияние анкеровки выноных опор на устойчивость мобильных транспортно-технологических машин, оснащенных стреловыми манипуляционными системами. // Научно-технический вестник Брянского государственного университета, 2018, №2. С. 152-167.

13. Щербakov В.С., Кoryтов М.С. Определение диапазонов управляемых координат автокрана для системы автоматического управления. // Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, Омск, 2017. 6 с.

tiya resheniy. In: *Sovremennoye sostoyaniye teorii issledovaniya operatsiy*. Moscow, Nauka, 1979, pp. 117-145. (In Russian)

5. Nogin V.D. Problema suzheniya mnozhestva Pareto: podkhody k resheniyu. *Iskusstvennyy intellekt i prinyatiye resheniy*, 2008, No.1, pp. 98 –112. (In Russian)

6. Bugayev Yu.V. Ekstrapolyatsiya ekspertnykh otsenok v optimizatsii tekhnologicheskikh system. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya*, 2003, No.3, pp. 90-96. (In Russian)

7. Bugayev Yu.V., Mironova M.S., Nikitin B.Ye. Veroyatnostnyy metod analiza protsedur postroyeniya kollektivnykh ekspertnykh otsenok. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sistemnyy analiz i informatsionnyye tekhnologii*, 2011, No.2, pp. 130-135. (In Russian)

8. Demidenko Ye.Z. *Lineynaya i nelineynaya regressii*. Moscow, Finansy i statistika, 1981. 302 p. (In Russian)

9. Babayan M.K. Modelirovanie adaptivnoy protsedury kollektivnogo vybora na osnove ekstrapolyatsii ekspertnykh otsenok. Diss. Cand. Sci. (Physico-Mathematical). Voronezh. 2015. 136 p. (In Russian)

10. Zorin V.A. *Osnovy dolgovechnosti stroitelnykh i dorozhnykh mashin*. Moscow, Mashinostroenie, 1986. 248 p. (In Russian)

11. Lagerev I.A. Razvitiye elementov teorii proyektirovaniya i modelirovaniya manipulyatsionnykh sistem mobilnykh transportno-tekhnologicheskikh mashin. Diss. Doc. Sci. (Engineering). Moscow. 2017. 409 p. (In Russian)

12. Lagerev A.V., Lagerev I.A. The influence of anchoring of remote supports on the stability of mobile transport and technological machines equipped with boom lift manipulators. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2018, No.2, pp. 152-167. DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2018-04-02-152-169> (In Russian)

13. Shcherbakov V.S., Korytov M.S. Opredeleniye diapazonov upravlyayemykh koordinat avtokrana dlya sistemy avtomaticheskogo upravleniya. Omsk, Sibirskaya gosudar-

14. Щербаков В.С., Кoryтов М.С., Григорьев М.Г. Система автоматического выравнивания опорной платформы строительной машины в горизонтальной плоскости // Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, Омск, 2017. 5 с.

15. Раннев А.В., Корелин В.Ф., Жаворонков А.В. Строительные машины: Справочник: В 2 т. Т.1: Машины для строительства промышленных, гражданских сооружений и дорог / Под общ. ред. Э.Н. Кузина. М.: Машиностроение, 1991. 496 с.

16. Бровкин И.Д., Грачев А.П. Моделирование поведения грунтов под опорами стрелового самоходного крана. Тула, Тульский государственный университет, 2018. 4 с.

17. Александров М.П. Грузоподъемные машины. М.: Машиностроение, 1986. 400 с.

18. Бычков И.С. Влияние геометрических параметров грунтового якоря на устойчивость самоходного грузоподъемного крана. // Транспортное и строительное машиностроение. 2017. № 58. С. 35-37.

19. Третьякова В.А. Методика выбора функции для аутсорсинга на машиностроительном предприятии // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2019. № 2. С. 102–114. DOI: 10.18698/0236-3941-2019-2-102-114.

20. ГОСТ Р 56728-2015. Здания и сооружения. Методика определения ветровых нагрузок на ограждающие конструкции. М.: Стандартинформ, 2016. 17 с.

21. Единый стандарт. Стандарт Промышленная безопасность при эксплуатации подъемных устройств // Центр сертификации и лицензирования. Опубликовано: 1.06.2015.

22. Сладкова Л.А., Крылов В.В., Горелова М.В. Причины аварийности крановых конструкций при совокупном воздействии факторов. // Материалы Междунар. научно-техн. конф. «Наземные транспортно-технологические комплексы и средства». Тюмень, Тюменский индустриальный университет, 2020. С. 35-36.

23. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. М.: Высш. шк., 2010. 416 с.

24. Спесивцев В.В. Комформные отображения Лапласа в математике. Норильск:

stvennaya avtomobilno-dorozhnaya akademiya, 2017. 6 p. (In Russian)

14. Shcherbakov V.S., Korytov M.S., Grigoryev M.G. Sistema avtomaticheskogo vyvavnivaniya opornoj platformy stroitelnoy mashiny v gorizontalnoy ploskosti. Omsk, Sibirskaya gosudarstvennaya avtomobilno-dorozhnaya akademiya, 2017. 5 p. (In Russian)

15. Rannev A.V., Korelin V.F., Zhavoronkov A.V. *Stroitelnyye mashiny: Spravochnik: V 2 t. T.1: Mashiny dlya stroitelstva promyshlennykh, grazhdanskikh sooruzheniy i dorog. Pod obshch. red. E.N. Kuzina.* Moscow, Mashinostroyeniye, 1991, 496 p. (In Russian)

16. Brovkin I.D., Grachev A.P. Modelirovaniye povedeniya gruntov pod oporami strelovogo samokhodnogo kрана. Tula, Tul'skiy gosudarstvennyy universitet, 2018. 4 p. (In Russian)

17. Aleksandrov M.P. *Gruzopodyemnyye mashiny.* Moscow, Mashinostroyeniye, 1986. 400 p. (In Russian)

18. Bychkov I.S. Vliyaniye geomerichskikh parametrov gruntovogo yakorya na ustoychivosti samokhodnogo gruzopodyemnogo kрана. *Transportnoe i stroitelnoe mashinostroenie*, 2017, No.58, pp. 35-37. (In Russian)

19. Tretyakova V.A. Metodika vybora funktsii dlya outsorsinga na mashinostroitelnom predpriyatii. *Vestnik MGTU im. N.E. Bauman. Ser. Mashinostroyeniye*, 2019, No.2, pp. 102–114. DOI: 10.18698/0236-3941-2019-2-102-114. (In Russian)

20. GOST R 56728-2015. Zdaniya i sooruzheniya. Metodika opredeleniya vetrovykh nagruzok na ograzhdayushchiye konstruksii. Moscow, Standartinform, 2016. 17 p. (In Russian)

21. Yedinyy standart. Standart Promyshlennaya bezopasnosti pri ekspluatatsii podyemnykh ustroystv. Tsentr sertifikatsii i litsenzirovaniya. Opublikovano: 1.06.2015. (In Russian)

22. Sladkova L.A., Krylov V.V., Gorelova M.V. Prichiny avariynosti kranovykh konstruksiy pri sovokupnom vozdeystvii faktorov. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Nazemnyye transportno-tekhnologicheskiye komplekсы i sredstva».* Tyumen, Tyumenskiy

- Норильский индустриальный институт, 1975. 38 с.
25. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. М.: Наука, 1978. 832 с.
- † industrialnyy universitet, 2020, pp.35-36. (In Russian)
- †
- †
- † 23. Targ S.M. *Kratkiy kurs teoreticheskoy mekhaniki*. Moscow, Vysshaya shkola, 2010. 416 p. (In Russian)
- †
- † 24. *Spesivtsev V.V. Komformnye otobrazheniya Laplasya v matematike*. Norilsk, Norilskiy industrialnyy institut, 1975. 38 p. (In Russian)
- †
- † 25. Korn G., Korn T. *Spravochnik po matematike*. Moscow, Nauka, 1978. 832 p. (In Russian)