

УДК 005:62-19

МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ РИСКОМ АВАРИЙ ОБЪЕКТОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Извеков Ю.А., Грачева Л.А.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
Магнитогорск, e-mail: yurij.izvekov@mail.ru

Проанализированы модели принятия решений в управлении риском аварий объектов металлургического предприятия. Рассмотрена совокупность всех кранов на ПАО (Публичное акционерное общество) ММК (Магнитогорский металлургический комбинат). Выяснено, что 82 % кранов используются за пределами гарантийных сроков эксплуатации. Большую часть этой совокупности – около 70 % – составляют мостовые краны различной грузоподъемности и режимов работы. Статья является продолжением исследования конструктивного риск-анализа сложных объектов. Рассматриваются три модели принятия решений: модель гарантированной надежности, модель штатных аварий, модель идеального мониторинга. Получены результаты риска и приемлемого риска, а также показатели экономической эффективности каждой из моделей. Сделан вывод, что на сегодняшний день оптимальным является модель штатных аварий. Представляется допустимым сохранить то, что есть в эксплуатации, с учетом предложенных решений разработать мероприятия технического обслуживания и управлять риском аварий мостовых металлургических кранов. Полученные результаты могут быть использованы в математических моделях успешно разрабатываемого в настоящее время конструктивного риск-анализа. Предполагается, что приведенные исследования могут быть положены в основу новых математических моделей управления риском мостовых металлургических кранов, аварии и катастрофы на которых происходят не случайно, а в тех случаях, когда превышает некоторый критичный уровень сложности и уровень незнания или неучета динамики опасных процессов.

Ключевые слова: модель, авария, мостовой металлургический кран, принятие решений, риск, оптимальные решения

DECISION-MAKING MODEL IN ACCIDENT RISK MANAGEMENT OF METALLURGICAL FACILITIES

Izvekov Yu.A., Gracheva L.A.

Magnitogorsk State Technical University of G.I. Nosov, Magnitogorsk, e-mail: yurij.izvekov@mail.ru

The decision-making models in the management of emergency facilities of a metallurgical enterprise are analyzed. MMK Public Joint-Stock Company (Magnitogorsk Iron and Steel Works). It was found that 82 % of cranes are used outside the warranty period of operation. Most of this aggregate – about 70 % produce bridge cranes. The article is a continuation of the study of structural risk analysis of complex objects. Three decision-making models are considered: a guaranteed reliability model, a standard accident model, and an ideal monitoring model. The results of risk and acceptable risk are obtained, as well as indicators of economic efficiency of each of the models. It is concluded that the optimal accident model is currently optimal. It seems permissible to maintain what is in operation, taking into account the proposed solutions, develop maintenance measures and manage the risk of accidents of overhead metallurgical cranes. The results can be used in mathematical models of the structural risk analysis currently being successfully developed. It is assumed that the above studies can be the basis for new mathematical models of risk management of bridge metallurgical cranes, the accident and catastrophe of which does not occur accidentally, but in cases where a certain critical level of complexity and the level of ignorance or neglect of the dynamics of dangerous processes are exceeded.

Keywords: model, accident, bridge metallurgical crane, decision making, risk, optimal solutions

При принятии решений по управлению риском аварий объектов металлургического предприятия всегда нужно проводить мониторинг их состояния. Одними из наиболее опасных объектов металлургического предприятия являются краны различного назначения и конструкции. В таких сложных технических системах в процессе эксплуатации принятие решений будет основано на моделях, принципах и уровнях управления риском их аварий $R(t)$ [1, 2].

В качестве исследуемых объектов рассмотрим краны различной конструкции ПАО (Публичное акционерное общество) ММК (Магнитогорский металлургический комбинат), представленные в табл. 1.

Таблица 1
Исходные данные
по относительным единицам ущерба

Мостовые краны	756
Козловые	33
Портальные	5
Стреловые	128
Другие	187

Предварительный анализ кранов показал следующее распределение по гарантийным срокам эксплуатации (рис. 1).

Видно, что мостовые металлургические краны составляют 68 % от общего количе-

ства на предприятии, а краны, отработавшие нормативный срок, – 82 %. Но они все равно продолжают эксплуатироваться.

Таким образом, статья, посвященная разработке и описанию моделей принятия решений по управлению риском аварий объектов металлургического предприятия, представляется достаточно актуальной.

Цель исследования: на основе разрабатываемой и уточняемой теории конструкционного риск-анализа определить модели принятия решений по управлению риском мостовых металлургических кранов.

Целью данной статьи является модельный анализ принятия решений по управлению риском мостовых металлургических кранов.

Материалы и методы исследования

Предложим описать состояние крана целым числом $n = 0$, что будет соответствовать авариям с недопустимым уровнем ущерба $U(t)$. Если n будет больше, то в более безопасном состоянии будет находиться рассматриваемый объект. Безусловно, здесь состояние объекта должно рассматриваться вероятностным образом [1, 3].

Полагаем, что в момент сдачи в эксплуатацию крана $t = t_0 = 0$ он имел оценку надежности n_0 и риска $R(t_0)$. Считаем, что стоимость производства равна C и не зависит от оценок безопасности, а затраты, направленные на снижение рисков, будут $Z(p)$.

В этом случае модель принятия решений будет включать стратегию управления риском и оценки экономического эффекта от работы крана.

Результаты исследования и их обсуждение

Модель гарантированной надежности.

Рассмотрим случай, когда, несмотря на все принимаемые меры, состояние крана будет ухудшаться. Тогда время эксплуатации до аварии будет определяться только n_0 . Экономическая составляющая эффекта от работы будет [1]:

$$D_1 = (C - Z(p))n_0. \quad (1)$$

Это тот случай, когда кран, отработавший гарантийный срок эксплуатации более не эксплуатируется. Плюс такой модели принятия решений – не нужен мониторинг. Минус – время до аварии может быть маленьким, собственник может отказаться от эксплуатации, хотя на самом деле объект может находиться в работоспособном состоянии.

Риск аварии объекта тогда будет

$$R(t) = (1 - p)^{n_0}. \quad (2)$$

Если p близка к единице, а n_0 большое, то риск аварии будет очень малым. Как мы показали выше, это практически идеальная ситуация.

Модель штатных аварий.

При проектировании кранов обязательно учитываются так называемые штатные или нормальные аварии. В этом случае среднее время до аварии будет

$$\bar{M} = \sum_{m=1}^{\infty} m * p(m | n_0), \quad (3)$$

m – момент времени.

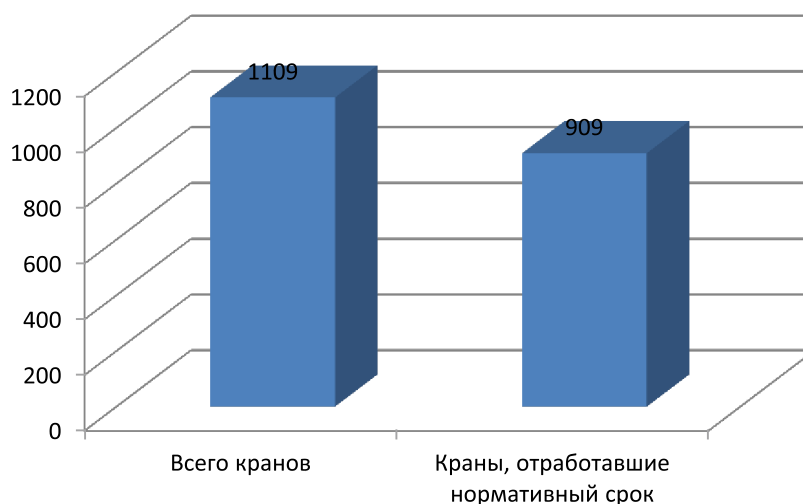


Рис. 1. Распределение кранов по гарантийным срокам эксплуатации

Тогда экономическая составляющая, в отличие от (1), становится случайной величиной с математическим ожиданием:

$$\bar{D}_2 = \sum_{m=0}^T m \left[(C - Z(p)) p(m|n) - p(m|n) L \right], \quad (4)$$

где T – время эксплуатации крана, L – стоимость ликвидации последствий аварии.

В этом случае, если хорошо отработана система технического обслуживания $\left(p > \frac{1}{2}\right)$, аварии можно избежать. Управление риском в этом случае сводится к выбору режима технического обслуживания и проектного срока эксплуатации.

Модель идеального мониторинга.

В предыдущем случае было необходимо в штатном режиме ликвидировать последствия крупной аварии. В этом случае если мы будем обладать системой идеального мониторинга, то в критической ситуации нужно будет просто прекратить эксплуатацию крана. Предполагая, что такая высокоэффективная система мониторинга в единицу времени требует затрат N , экономическая составляющая в среднем составит:

$$\bar{D}_3 = (C - Z(p) - N) \sum_{m=0}^{\infty} m^* p(m, n). \quad (5)$$

Модель принятия решений на изменения технического состояния металлургических мостовых кранов.

Модели (1)–(5) подразумевают, что величины p , $Z(p)$, L , C , N существенно не меняются за время эксплуатации крана. Однако практика показывает, что это не совсем так. Количество аварий на металлургических предприятиях показывает, что технические, социальные, психологические, экономические и показатели конструкционного риск-анализа становятся наиболее существенными [4].

В соответствии с [1–3, 5] модель принятия решений в управлении риском аварий мостовых кранов металлургического предприятия может быть получена в трех направлениях [1, 3].

Первое направление связано с новым междисциплинарным подходом к рискам и безопасности на первом этапе хотя бы несущих конструкций рассматриваемых объектов.

На сегодняшний день существует достаточно большое количество подходов и научных и конструкторских разработок в каждой области технологий, есть свои понятия о надежности и риске, но, к сожалению, между ними нет ничего общего.

В этом случае модель принятия решений должна быть чисто нормативной, отраслевой, объектовой.

На самом деле в России сейчас ресурсов, чтобы вывести из эксплуатации деградировавшие краны и заменить их новыми, а также внедрить современные наукоемкие идеальные системы мониторинга и снизить риск аварий до нормативных требований, в больших количествах попросту нет. Поэтому представляется допустимым сохранить максимально то, что эксплуатируется с приемлемыми рисками, а затем вводить новые проекты по снижению риска аварий.

Рассмотрим экономические составляющие для различных моделей принятия решений.

В предыдущих работах [2, 3] показано, что аварии мостовых кранов на металлургическом предприятии могут быть трех типов: мелкие, незначительные аварии, катастрофические. Считая, что из 756 мостовых кранов на ПАО ММК – 620 работают за пределами гарантийных сроков, а 136 эксплуатируются нормативно, приведем модельные расчеты их экономической эффективности.

Суммарный средний за 15 лет эксплуатации ущерб может быть оценен по следующей формуле:

$$\bar{U} = N * G * \tilde{C}, \quad (6)$$

N – количество эксплуатирующихся кранов;
 G – срок гарантийной эксплуатации;

$\tilde{C}$ – нижняя граница суммарного ущерба.

Тогда для всей совокупности мостовых кранов:

$$\bar{U} = N * G * \tilde{C} =$$

$$= 756 * 15 * 2,1 = 23814 \text{ условных единиц} \\ (\text{усл. ед.}).$$

$$1 \text{ усл. ед.} - 1000 \$.$$

Для всей совокупности кранов, а также с учетом их эксплуатационных нагрузок (напряжения и деформации) и режимов работы рассчитаем средние ущербы для трех типов аварий [1–3]:

- первый тип соответствует 2382 авариям;
- второй тип – 239 авариям;
- третий тип – 24 катастрофам.

Получены важные показатели, но все-таки представляется достаточно серьезным, что может произойти 24 аварии катастрофического типа. Тогда, принимая $n_0 = 15$, $p = 0,107$; рассчитаем приемлемый риск по (2):

$$R(t_0) = (1 - 0,107)^{15} = 0,183.$$

Задаваясь значением надежности и вероятностью аварий, можно увидеть распределение конструкционного риска металлургических мостовых кранов по годам при заданной надежности (рис. 2).

Тогда, принимая в среднем $C = 100000$ усл. ед. [6]:

$$D_1 = (100000 - 23814) \cdot 15 = 1142790 \text{ усл. ед.}$$

$$\bar{D}_2 = 1260856 \text{ усл. ед.}$$

$$\bar{D}_3 = 378360 \text{ усл. ед.}$$

Полученные расчетные данные удовлетворительно согласуются с реальными данными [1, 5, 6].

На основании вышеупомянутых предположений о трех моделях принятий решений в управлении риском аварий объектов металлургического предприятия необходимо принять модель – модель штатных ава-

рий, в том числе и с учетом экономической составляющей (рис. 3).

Хотя первая модель принятия решений может конкурировать со второй, но, как было сказано выше – это практически идеальная ситуация.

При использовании второй модели принятия решений управление риском сводится к выбору технического обслуживания и установления проектного срока эксплуатации, а также приемлемого уровня риска. Если говорить об авариях различных типов, то такая модель предполагается наиболее оптимальной.

Выводы

Металлургическое предприятие в своем составе имеет большое количество единиц грузоподъемного оборудования, счет идет на тысячи. Большая часть такого оборудования эксплуатируется за пределами гарантийных сроков. Принятие решений в управлении риском здесь является важной научно-технической проблемой.

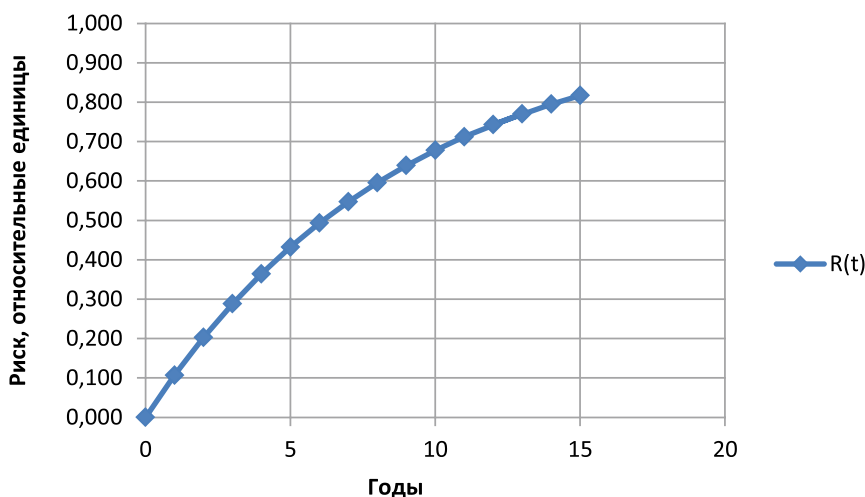


Рис. 2. Распределение конструкционного риска мостовых кранов по годам

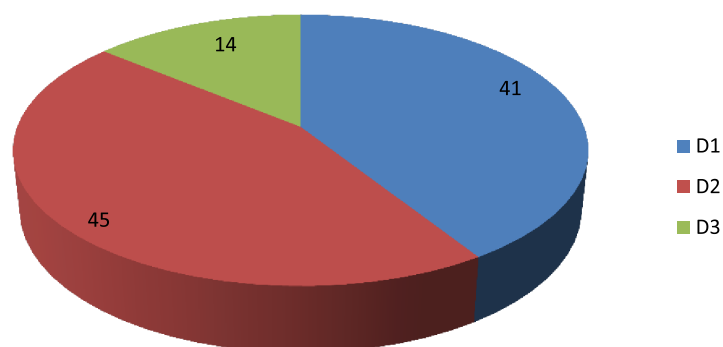


Рис. 3. Распределение кранов по гарантийным срокам эксплуатации

Предполагается, что принятие решений может осуществляться по трем моделям: модель гарантированной надежности, модель штатных аварий, модель с идеальным мониторингом.

Принятие решений в таких условиях предполагает учет параметров конструкционного риска и приемлемого конструкционного риска, надежности, безопасности, социальных, психологических и экономических.

На сегодняшний день в России ресурсов для покупки новых кранов металлургического производства взамен устаревших, а также для высокотехнологичной системы идеального мониторинга нет.

Поэтому за основу предлагается взять вторую модель принятия решений, которая позволяет рассчитать уровень риска, приемлемого риска, технического обслуживания и спроектировать дальнейший срок эксплуатации.

В качестве модельного примера рассчитана экономическая составляющая всех трех моделей, из которых видно, что, как и предполагалось, модель штатных аварий оптимальна.

Предполагается, что приведенные исследования могут быть положены в основу

новых математических моделей управления риском мостовых металлургических кранов, аварии и катастрофы на которых происходят не случайно, а в тех случаях, когда превышает некоторый критичный уровень сложности и уровень незнания или неучета динамики опасных процессов.

Список литературы

1. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Управление ресурсом эксплуатации высокорисковых объектов. М.: МГФ «Знание», 2015. 600 с.
2. Извеков Ю.А., Грачева Л.А. Конструкционный риск-анализ сложных механических систем // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 76-й международной научно-технической конференции. Магнитогорск. МГТУ, 2018. С. 164–165.
3. Izvekov Yu.A. Quantitative evaluation algorithm for technical system reliability // Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении: научные труды VI Международной научной конференции. М.: ИМАШ РАН, 2019. С. 195–196.
4. Хроника аварий // Ростехнадзор [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gosnadzor.ru> (дата обращения: 22.01.2020).
5. Кремер Н.Ш., Путко Б.А., Тришин И.М., Фридман М.Н. Исследование операций в экономике: 3-е изд., перераб. и доп. Учеб. пособие для вузов / Под ред. проф. Н.Ш. Кремера. М.: Юрайт, 2014. 438 с.
6. Технорос // Подъемно-транспортное оборудование [Электронный ресурс]. URL: <https://tehnoros.ru/products/met/lit/> (дата обращения: 22.01.2020).