

ВЛИЯНИЕ ФАКТОРА «ВРЕМЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ» НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ «КРАНОВЩИК – КРАН – СРЕДА ОКРУЖЕНИЯ»

В. А. Пенчук, д.т.н., профессор; Н. А. Юрченко, Д. В. Шундиков

ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

Аннотация. В настоящее время парк грузоподъемных машин имеет самую разнообразную технику, как по конструкции (зарубежную и отечественную), так и по возрасту. Для эффективной эксплуатации такой техники необходим комплексный подход к системе «крановщик – кран – среда окружения», учитывающий факторы влияния всех подсистем.

С увеличением времени эксплуатации изменяется положение всех элементов системы: техническое состояние грузоподъемной машины ухудшается, психофизиологические характеристики крановщика снижаются, а профессионализм увеличивается, окружающая среда меняет свои показатели в худшую сторону.

Повысить производительность труда, безопасность выполнения работ, улучшить охрану труда обслуживающего персонала возможно, учитывая изменение всех элементов системы «крановщик – кран – среда окружения» во времени, своевременно проводя техническое освидетельствование техники, медицинские осмотры обслуживающего персонала, специальную оценку условий труда.

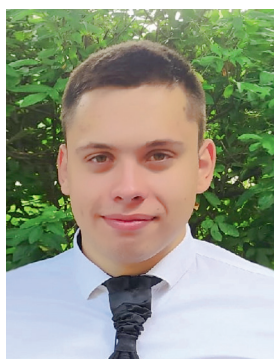
Ключевые слова: грузоподъемный кран, крановщик, производственная среда, фактор, время эксплуатации, квалификация, старение.



*Пенчук
Валентин Алексеевич*



*Юрченко
Наталья Андреевна*



*Шундиков
Дмитрий Васильевич*

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Основные причины, приводящие к ухудшению эффективности эксплуатации грузоподъемных кранов, сводятся к следующим:

- низкая квалификация операторов машин;
- неудовлетворительное техническое состояние кранов;
- неудовлетворительные параметры производственной среды.

В процессе эксплуатации грузоподъемной техники существует система «кран – крановщик – среда окружения». Среда окружения включает в себя производственные помещения и сооружения, перемещаемые материалы, энергоносители, воздушную среду и т.д. Все элементы системы влияют друг на друга. Состояние грузоподъемной машины и производственной среды влияет на выполнение машинистом крана поставленной задачи; невнимательность, недостаточная профессиональная подготовка крановщика может привести к возникновению нестандартной ситуации, поломке оборудования, простоем и т.д. Некорректная работа любой составляющей системы влияет на работу всей системы.

Эффективность работы системы зависит от факторов, которые заложены в каждой из ее подсистем: в грузоподъемном кране, машинисте крана, окружающей среде. В каждой из подсистем имеется большое количество факторов, воздействующих на другие подсистемы. С течением времени данные факторы изменяются: некоторые ухудшают работу системы, а некоторые улучшают, например, возрастание профессионализма оператора.

В сфере эксплуатации подъемно-транспортного оборудования складывается сложная ситуация. Грузоподъемный парк имеет машины отечественного и зарубежного производства, большинство техники возрастом от десяти лет и старше. Доля новой техники, имеющей срок эксплуатации не более трех лет, невелика. Больше половины технических единиц парка кранового оборудования не только морально устарело, но и полностью изношено.

В этих условиях возрастают требования к качественному потенциалу рабочей силы. Для эксплуатации такой техники машинист крана должен обладать профессиональной гибкостью и мобильностью.

Системный анализ комплекса «кран – крановщик – среда окружения» позволяет определить причинные взаимодействия между ситуациями, которые происходят с грузоподъемным краном, обслуживающим персоналом и производственной средой, и приводят к ухудшению работоспособности системы.

При разработке мероприятий по улучшению эффективности эксплуатации грузоподъемных машин необходим комплексный подход, учитывающий многообразие воздействующих факторов на каждую подсистему и изменение их во времени.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Вопросами повышения эффективности эксплуатации грузоподъемных машин занимается много ученых как в России, так и за рубежом. Много работ посвящено улучшению технического состояния грузоподъемных машин, условий труда операторов. Авторы рассматривают как работу системы «кран – крановщик – среда окружения» в целом [1], [2], [3], так и работу подсистем отдельно. Показано, что можно разработать математические модели на основании данных о деградационных процессах в грузоподъемной технике и спрогнозировать остаточный ресурс элементов крана [4]. Отказ в работе, аварийная ситуация происходят в результате ошибок на всех стадиях строительства: проектирование, подготовка и организация, производство работ, эксплуатация [5].

Ученые рассматривают факторы, влияющие на работу оператора машины – крановщика. В частности, в статье [6] проанализированы факторы, влияющие на выполнение работы оператора машины на высоте. О необходимости в скором времени готовить квалифицированные кадры в связи с их недостатком беспокоятся авторы труда в Великобритании [7]. Рекомендуют предложения по совершенствованию условий труда крановщика в работах [8] и [9].

Рассогласования между элементами технологической системы часто приводят к резкому возрастанию числа отказов машины. Поэтому возникает необходимость системного подхода к исследованию характера изменения входных и внутренних факторов, считают авторы труда [10].

Проведенный анализ публикаций показывает актуальность темы.

Целью исследований является повышение эффективности эксплуатации грузоподъемных кранов за счет учета фактора времени эксплуатации.

ОСНОВНОЙ ТЕКСТ

Во многих отраслях промышленности и строительства не обойтись без подъемного оборудования. Оно обеспечивает ряд преимуществ, которые значительно упрощают и ускоряют процессы подъема и перемещения грузов.

Эффективность эксплуатации грузоподъемных кранов зависит от многих причин (рис. 1).

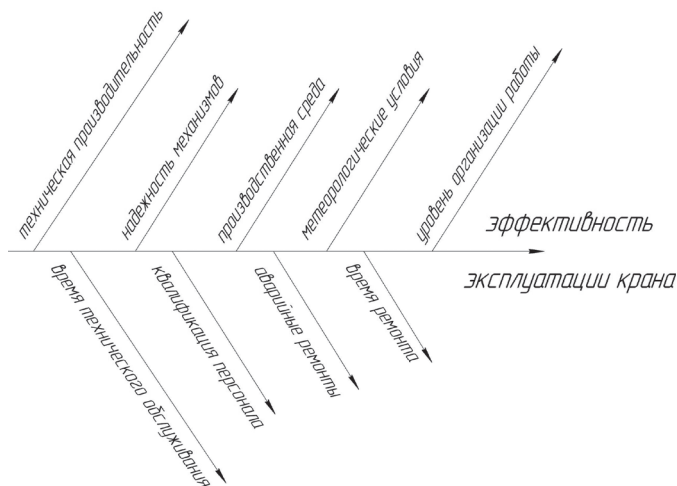


Рис. 1. Факторы, влияющие на эффективность эксплуатации крана

Можно выделить три основные причины, зависящие от:

- обслуживающего персонала (квалификация, психофизиологическое состояние и т.д.);
- технического состояния машины (износ, эргономичность и т.д.);
- производственной среды (условия работы, обстановка, материалы и т.д.).

Для решения задачи необходим комплексный подход, учитывающий многообразие воздействующих факторов.

При проектировании грузоподъемных машин принимаются конкретные условия эксплуатации и режимы их нагружения, закладываются начальные количественные значения факторов работоспособности, безопасности и охраны труда.

Многообразие факторов системы «крановщик – грузоподъемная машина – окружающая среда» можно кратко представить следующим образом (рис. 2).

В процессе эксплуатации происходит ухудшение технического состояния грузоподъемной машины с учетом условий ее эксплуатации, изменение производственной среды (таблица 1). Некоторые из параметров становятся недопустимыми из условий безопасности и охраны труда.

Современные грузоподъемные машины отличаются значительным разнообразием по функциональному назначению, конструктивным особенностям, системам управления, особенностям технического ремонта и обслуживания, контроля и учета режимов нагружения и многих других характеристик. Рабочей функции грузоподъемной машины (подъему и перемещению груза) обычно сопутствует ряд других функций, обеспечивающих или облегчающих ее осуществление.

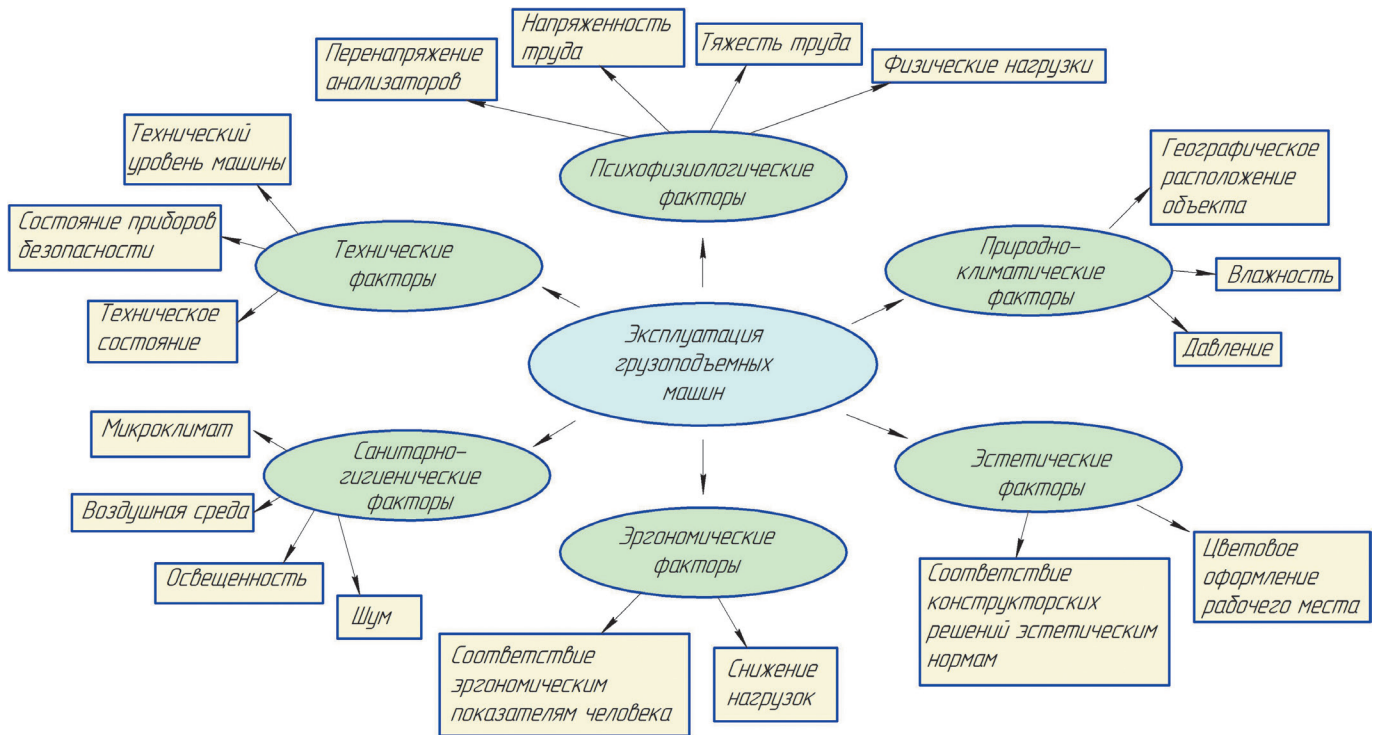


Рис. 2. Факторы, влияющие на процесс эксплуатации грузоподъемных машин

Таблица 1.
Влияние фактора времени на грузоподъемный кран и среду окружения

Наименование факторов	Признаки влияния фактора времени
Технические	Физический износ элементов крана Моральный износ крана Отказ в работе механизмов
Психофизиологические	Устаревшая система управления Снижение видимости Возрастание напряженности труда
Санитарно-гигиенические	Ухудшение качества воздушной среды Увеличение вибраций, уровня шума Ухудшение освещенности Ухудшение микроклимата
Природно-климатические	Ухудшение состояния машины Ухудшение микроклимата
Эстетические	Ухудшение эстетического вида Нечеткость надписей Блеклость цветового оформления
Эргономические	Изменение усилия на рычагах Ухудшение видимости указателей Уменьшение звука сигналов Некомфортность рабочего места

В общем случае модель функционирования грузоподъемной машины может быть представлена следующим образом (рис. 3).

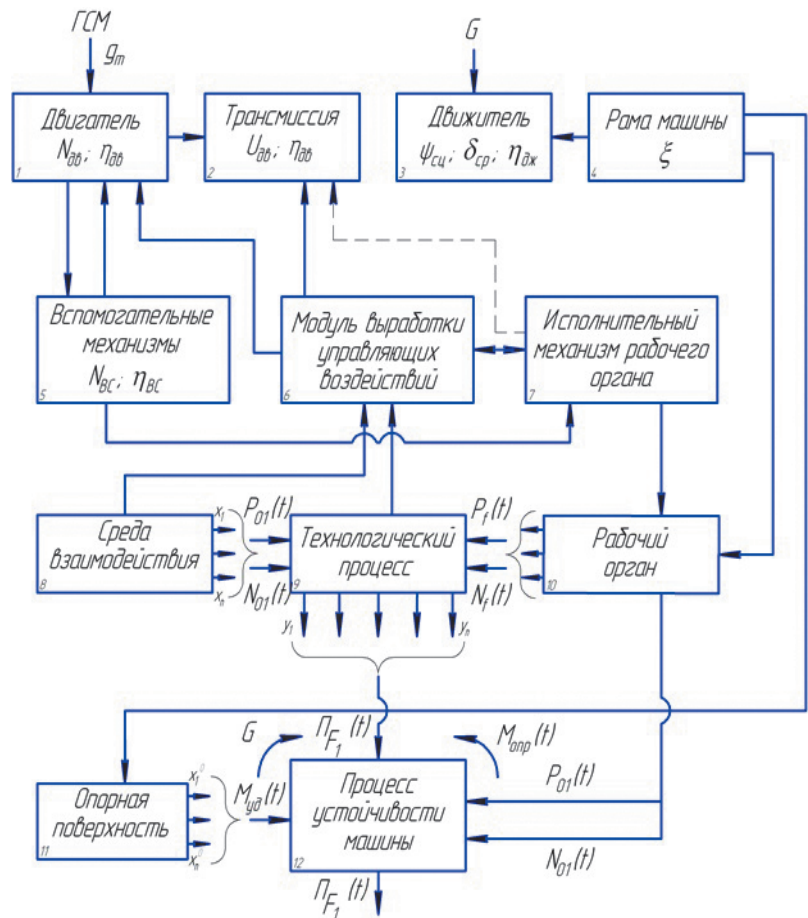


Рис. 3. Модель функционирования грузоподъемной машины

Как видно из приведенной модели, между процессом действия и процессом преобразования существует причинная связь, а именно, изменение параметра среды взаимодействия $x_1; x_2; \dots; x_n$ в процессе преобразования до значений $y_1; y_2; \dots; y_n$ вызывается действиями технической системы – крана $[P_f(t)]$, как причины. С другой стороны, эта причина является следствием цепочки действий в машинном контуре (двигатель, трансмиссия, исполнительный орган и т.д.), инициируемых входным воздействием на машину.

Каждый из указанных блоков на рисунке 3 действует по-своему, но подчиняется обобщающей их внутренней взаимосвязи.

Реализуемый краном технический процесс может быть охарактеризован качеством обобщенных операторов процесса, а именно:

- качеством технологии, определяющей внешнее воздействие на кран $P_{01}(t)$;
- совершенством и состоянием основных узлов крана ($N_{дв}$, $\eta_{дв}$ – мощность и КПД двигателя; $U_{ТР}$ и $\eta_{ТР}$ – передаточное число и КПД трансмиссии; $\psi_{сц}$; $\delta_{ср}$; $\eta_{дк}$ – коэффициент сцепления движителя с опорной поверхностью, коэффициент буксования, КПД движителя; $N_{вс}$; $\eta_{вс}$ – мощность и КПД вспомогательных механизмов);

- состоянием средств управления;
- квалификацией операторов кранов;
- показателями внешней среды, определяющими усилия на рабочем органе и состояние оператора, и так далее.

Для реализации функционального назначения грузоподъемных машин необходимо выполнение следующих условий

$$P_f(t) > P_{01}(t) \quad (1)$$

$$M_{уд}(t) > M_{опр}(t) \quad (2)$$

где $P_f(t)$ – текущее значение, создаваемое на рабочем органе грузоподъемной машины от ее привода; $P_{01}(t)$ – текущее значение сопротивления на рабочем органе;

$M_{уд}(t)$ и $M_{опр}(t)$ – соответственно текущее значение моментов удерживающего и опрокидывающего относительно ребра опрокидывания.

Текущее значение, создаваемое на рабочем органе грузоподъемной машины от ее привода, должно быть больше, чем текущее значение сопротивления на рабочем органе.

Текущее значение момента удерживающего должно быть больше опрокидывающего момента относительно ребра опрокидывания.

Многомерное пространство реально не существует, но его можно легко представить. Изменение производительности системы «кран – крановщик – среда окружения» в трехмерном пространстве – это изменение объемов V производства работ на объекте и дальности расположения объекта L от основной базы. Все это рассматривается в третьем измерении – времени жизненного цикла машины $t_{жцм}$ (рис. 4).

Реальные условия эксплуатации системы «кран – крановщик – среда окружения» – это многомерное пространство. За период жизненного цикла грузо-

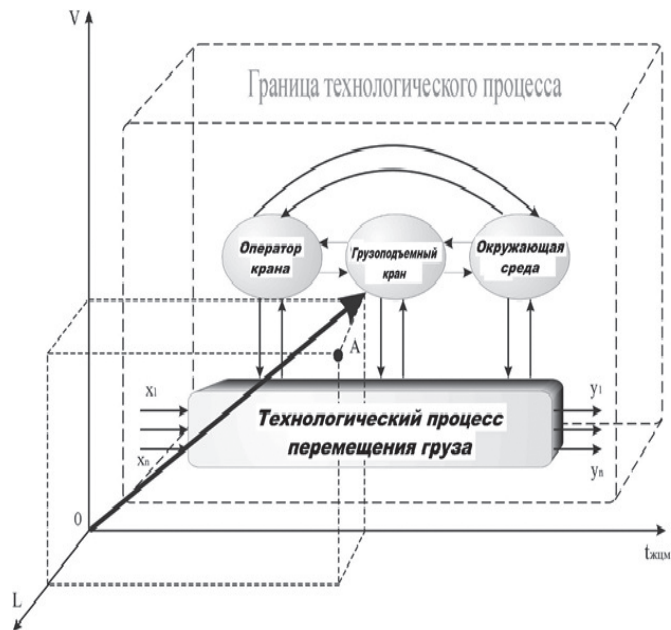


Рис. 4. Модель i -того технологического процесса грузоподъемной машины в многомерном пространстве

подъемной машины (10...20 лет) выполняются тысячи подъемов и опусканий различных грузов в различных условиях технологического процесса (рис. 5).

В системе «кран – крановщик – среда окружения» человек является центральным звеном системы управления и его деятельность можно охарактеризовать следующими этапами:

- 1) прием информации,
- 2) оценка и переработка информации,
- 3) принятие решения,
- 4) реализация решения.

Оператор машины должен обладать, прежде всего, быстройдействием, точностью, надежностью.

Оценивать быстроедействие крановщика можно по времени решения определенной задачи, которое начинается в момент появления сигнала о приеме информации и заканчивается моментом окончания управляющих воздействий. Этим же показателем можно определять и быстроедействие всей системы.

Старение крановщика рассматривается как биологический процесс. Постепенную деградацию некоторых органов и движений человека-оператора грузоподъемной машины можно выявить при плановом медицинском осмотре крановщика.

Уровень психофизиологической профессиональной пригодности операторов машин снижается с увеличением возраста и стажа.

Наиболее существенному снижению подвержены характеристики внимания, концентрации и умственной работоспособности, причем эти изменения наступают после 40 лет и связаны с влиянием возраста.

Проанализируем влияние возраста оператора машины на его профессиональные возможности. С возрастом появляются различного рода изменения кровеносных сосудов, развиваются мелкоточечные кровоизлияния в различных зонах мозга, изменяются оптика и рефракция глаза. Все это приводит к тому, что к старости у человека ухудшаются:

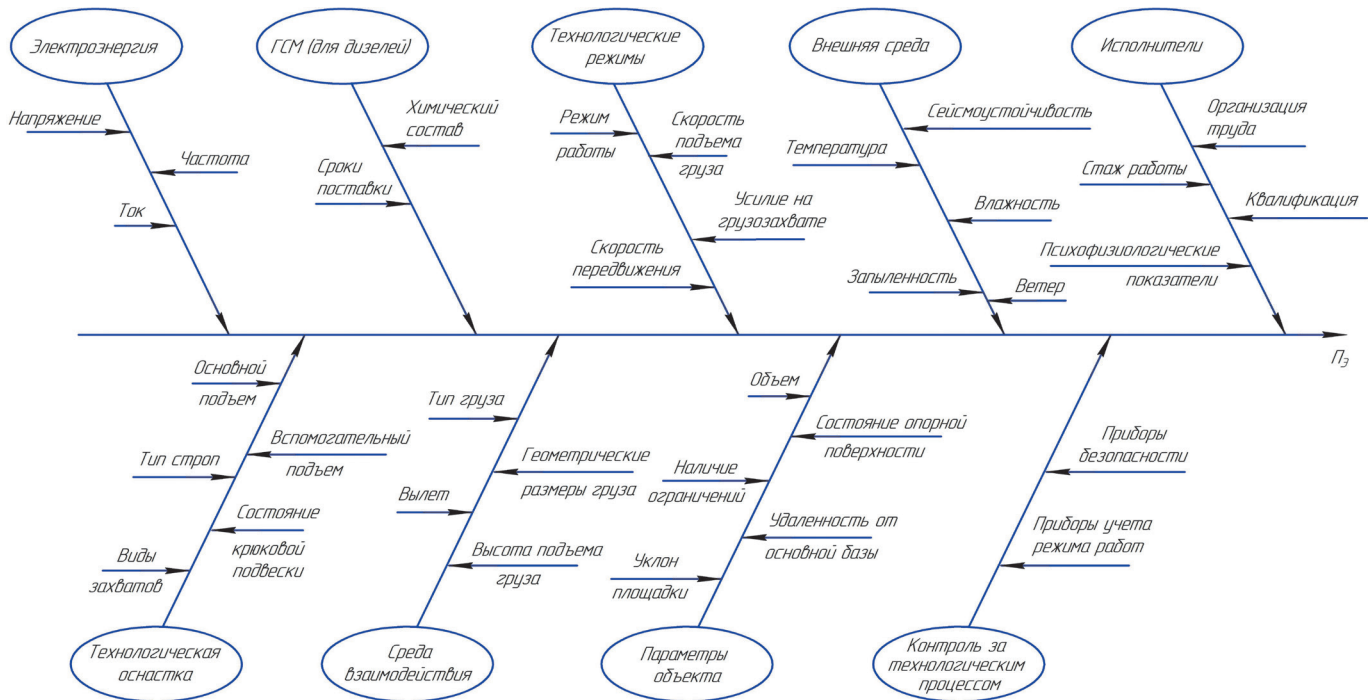


Рис. 5. Операнды технологического процесса функционирования грузоподъемной машины

- координация движений;
- концентрация внимания;
- точный глазомер;
- динамическая визуальная острота зрения;
- работоспособность и темп работы.

Следует отметить, что с возрастом и увеличением стажа у крановщика появляется большой профессиональный опыт. На рисунке 6 изображены графики, показывающие изменение важных психофизиологических характеристик человека, добавлена кривая нарастания профессионального опыта. После 40...45 лет отмечается стойкое снижение функциональных и адаптационных возможностей организма человека. К 35...45 годам наблюдается максимальное нарастание профессионального опыта. Т.е. «идеальным» крановщиком можно стать в возрасте 35-45 лет.

Грузоподъемная техника и производственная среда являются потенциальными источниками вредных и опасных производственных факторов, которые

могут неблагоприятно влиять на состояние здоровья и работоспособность машиниста крана.

С увеличением срока эксплуатации происходит старение грузоподъемной техники и изменение производственной среды.

Для оценки состояния грузоподъемного крана проводится техническое освидетельствование.

Для оценки степени и уровня влияния факторов производственной среды на машинистов крана, снижения их действия проводится специальная оценка условий труда.

С каждым годом эксплуатации грузоподъемных кранов происходит ухудшение показателей производственной среды, повышается количество неблагоприятных факторов для машиниста крана. Для определения этих факторов предлагаются дополнительные исследования при проведении специальной оценки условий труда (таблица 2).

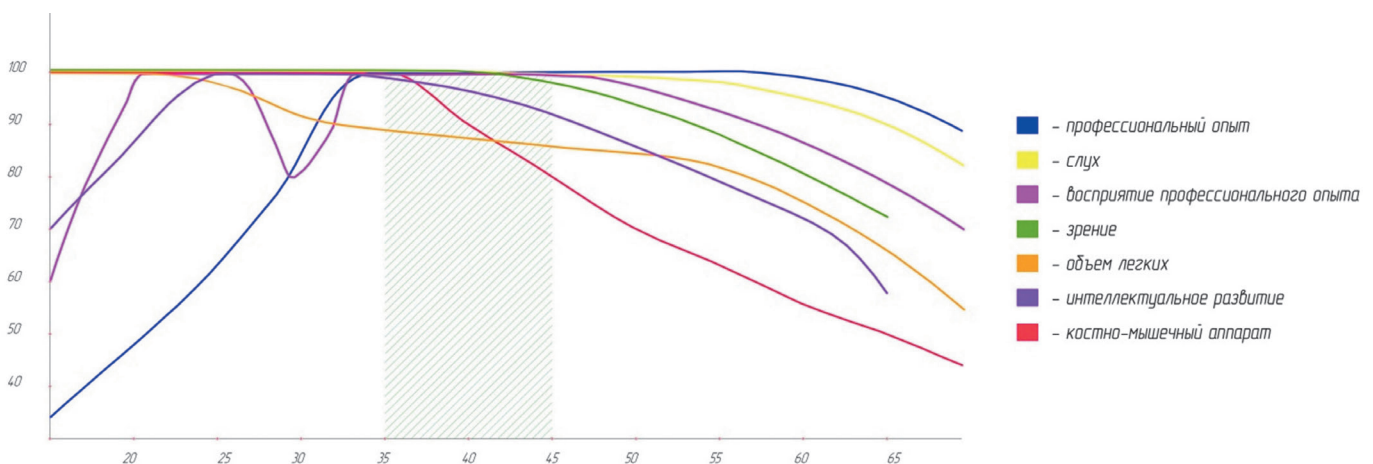


Рис. 6. Изменение психофизиологических характеристик оператора в зависимости от времени

Таблица 2.

Дополнительные опасные и вредные факторы, возникающие при эксплуатации грузоподъемного крана с течением времени

№	Вид опасности	Возможные последствия для машиниста крана	Причины возникновения опасности
1	механическая опасность	травма или смерть	разрушение элементов крана
			скользящая поверхность галерей, лестниц
2	электрическая опасность	травма, смерть от электрошока или ожога	неисправность электрических проводов и кабелей
			непригодность изоляции
3	опасность, вызванная невыполнением требований эргономики	чрезмерная физическая нагрузка, умственная перегрузка, стресс, ошибки, напряжение глаз	недостаточный обзор с рабочего места
			несоответствующее освещение
4	опасность, вызванная неожиданным пуском, превышением скорости и т.п.	травма	нарушения в работе системы управления
5	шум	нарушение остроты слуха, звон в ушах, усталость	недостаточная герметичность кабины
6	вибрация	болезнь суставов, сосудистой и нервной систем и т.п.	нарушение виброизоляции, отсутствие виброзащиты
7	загазованность и запыленность производственных помещений	заболевания легочной системы	недостаточная герметичность кабины
8	повышенная влажность, слишком низкая или высокая температура в помещении	быстрое утомление, перегревание или замерзание организма, расстройство кровообращения	нарушение работы кондиционера или отопительного прибора
9	электрические и магнитные поля	нарушения в деятельности сердечно-сосудистой системы, органов дыхания и пищеварения, возможно изменение состава крови и др.	неисправности защиты
10	вредность перегружаемых материалов	отравление организма	недостаточная герметичность кабины

ВЫВОДЫ

1. Для повышения эффективности эксплуатации системы «крановщик – кран – среда окружения» необходимо исследовать процессы, происходящие в системе под влиянием фактора «время эксплуатации».

2. С увеличением времени эксплуатации в грузоподъемном кране происходят процессы старения, которые можно обнаружить при техническом освидетельствовании.

3. Уровень профессиональной подготовки специалистов и рабочих с течением времени эксплуатации грузоподъемного крана повышается, психофизиологические характеристики с возрастом ухудшаются.

4. Для определения влияния временного фактора на производственную среду следует проводить специальную оценку условий труда.

Особенное внимание необходимо уделить обследованию:

- кабины крановщика (наличие трещин, утончение стенок, нарушение герметичности, теплоизоляции);

- смотровых стекол кабины (прозрачность, поцарапанность, затенение, исправность «дворников», исправность системы обдува и обогрева);

- органов управления (соответствие органов управления усилиям человека и его возможностям, анатомии рук, кистей, ног; возвращение в исходное положение после прекращения воздействия органов, управляющих движением крана или его механизмами; состояние поверхности педалей; наличие соответствующей маркировки).

Список литературы

1. Дмитриев, М. С. *Современные методы оценки безопасности и эргономичности системы «оператор-машина-среда»* / М. С. Дмитриев, Ю. И. Аверьянов, К. В. Глемба и др. – Текст: непосредственный // *Вестник Челябинского государственного агроинженерного университета – Челябинск, 2005 – Том 45. – С. 12-17.*
2. Пенчук, В. А. *Повышение безопасности работ и охрана труда на грузоподъемных машинах, используемых на поверхности угледобывающих предприятий* / В. А. Пенчук, В. Н. Гусаков, Н. А. Юрченко. – Текст:

- непосредственный // Сборник «Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах». – 2019. № 1 (44). – С. 65-73.
3. Chen, W. 2014. "A quantitative fuzzy causal model for hazard analysis of man-machine-environment system." *Saf. Sci.* 62 (Feb): 475–482. – Режим доступа: // <https://daneshyari.com/article/preview/589251.pdf>.
 4. Пенчук, В. А. Повышение безопасности и ресурса грузоподъемных машин на базе цифровых технологий / В. А. Пенчук, Н. А. Юрченко, В. В. Пенчук. – Текст непосредственный // Международный научно-технический журнал «Вестник Донецкого национального технического университета». – 2020. № 4 (22). – С. 30-37.
 5. Тринкер, А. Б. Аварии объектов строительства и безопасность [Электронный ресурс] / А. Б. Тринкер // Строитель Донбасса. – 2018. № 1 (2), 2018 – С. 35-40. – Режим доступа: [http://donnasa.ru/publish_house/journals/sd/2018/sd_2018-1\(2\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/sd/2018/sd_2018-1(2).pdf).
 6. Tehrani, B.M., Wang, J. and Truax, D. (2022), «Assessment of mental fatigue using electroencephalography (EEG) and virtual reality (VR) for construction fall hazard prevention», *Engineering, Construction and Architectural Management*, Vol. 29 No. 9, pp. 3593-3616. – Режим доступа: // <https://scholarsjunction.msstate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1779&context=td>.
 7. Dainty, A.R.J., Ison, S.G. and Root, D.S. (2004), «Bridging the skills gap: a regionally driven strategy for resolving the construction labour market crisis», *Engineering, Construction and Architectural Management*, Vol. 11 No. 4, pp. 275-283.
 8. Liu, P., H. Chi, X. Li, and D. Li. (2020), "Development of a fatigue detection and early warning system for crane operators: A preliminary study." *Constr. Res. Congress 2020 (1)*: 106–115.
 9. Fang, Y., Y. K. Cho, F. Druso, and J. Seo. (2018), "Assessment of operator's situation awareness for smart operation of mobile cranes." *Autom. Constr.* 85 (Sep): 65–75.
 10. Глемба, К. В. Исследование показателей системы «оператор – машина – среда» в технологическом процессе / К. В. Глемба, А. В. Гриценко, Ю. И. Аверьянов, А. М. Плаксин. – Текст: непосредственный // АПК России. – 2020. – Том 27 № 1. – С. 95-104.