



УДК 69.002.5

А.В. Вавилов, М.Т. Елеукенов

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГРОХОЧЕНИЯ И КОНСТРУКЦИЙ ГРОХОТОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ
КАЧЕСТВЕННЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ПРИ РАЗДЕЛЬНОМ ПРИГОТОВЛЕНИИ БЕТОНОВ**

Потребность строительной и многих других отраслей промышленности в машинах для сортировки сыпучих материалов (грохотах) различных конструкций очень велика. Подтверждением является то, что только за пределами СНГ производством грохотов занято более 300 предприятий и фирм, из них 90 - крупных, в числе которых 32 фирмы находятся в США, 16 - в Великобритании, 11 - в ФРГ; 6 - в Японии [1].

При комплексном подходе к производству бетонов (то есть с учётом производства инертных заполнителей и других компонентов) немаловажное значение имеет совершенствование технологий и техники грохочения, особенно при производстве высококачественного щебня.

Литературный и патентный анализ последних лет показывает, что интерес к совершенствованию грохотов, созданию их новых конструкций и новых способов грохочения все более возрастает.

Основные тенденции развития грохотов направлены на достижение следующих целей:

- повышение эффективности грохочения;
- повышение надёжности и долговечности эксплуатации;
- расширение области применения и технологических возможностей.

Наибольшее внимание уделяется обычно повышению эффективности грохочения. При этом иногда на второй план уходит немаловажный вопрос о снижении энергопотребления на процессы грохочения. Хотя в таких отраслях, как строительная, при значительных объёмах обработки материалов, этот вопрос также имеет немаловажное значение.

Все практические разработки в области грохочения строятся на соответствующих научных исследованиях (моделирование процессов грохочения), объём которых, как показывает литературный анализ, также в последнее время значительно вырос.

При моделировании процессов грохочения можно выделить несколько основных подходов: эмпирические методы, анализ структуры потоков с помощью распределения времени пребывания (РВП) частиц внутри аппарата, методы механики сплошной среды, статистический подход.

В эмпирическом подходе, в результате обработки экспериментальных данных для определения зависимостей времени обработки, качества продукта и т.д. от свойств исходного материала, конструктивных и режимных параметров работы оборудования, устанавливают соотношения в виде регрессионных и критериальных уравнений [2]. Обычно полученные при этом соотношения описывают работу только конкретного оборудования, и не решается проблема масштабного перехода.

Моделирование процессов разделения дисперсных материалов методами механики сплошной среды является одним из возможных и обоснованных, хотя при практической реализации данного подхода приходится сталкиваться со сложной проблемой замыкания и решения системы уравнений механики многофазных сред.

Исследование процессов разделения сыпучих материалов на статистической основе является, по мнению некоторых учёных, в настоящее время перспективной и актуальной задачей [3]. В данном случае за основу принимается тот факт, что процесс классификации на ситах носит стохастический характер как в силу вероятностных свойств самих разделяемых материалов, так и самого процесса разделения. Эффективность и качество классификации в целом зависят от многих факторов. Это ограничивает возможность обобщения результатов экспериментального исследования конкретного процесса и распространения их на общий случай. В связи с этим для описания кинетики процессов разделения дисперсных материалов предлагается использовать статистические методы, в частности математический аппарат теории Марковских процессов.

Именно кинетика процесса грохочения (зависимость степени извлечения частиц мелких фракций из сыпучего слоя, находящегося на поверхности вибросита, в подситовый продукт от времени классификации) является предметом наиболее часто встречающихся в настоящее время исследований.

Известные математические модели, описывающие кинетику процесса, рассматривают упрощённые ситуации. Так, при виброклассификации крупных и мелких частиц одной плотности процесс сегрегации не учитывается. При этом расчётные и экспериментальные кинетики грохочения совпадают, так как являются интегральными характеристиками процесса. Однако если рассматривать процесс движения ансамбля мелких частиц по высоте виброоживленного сыпучего слоя, то принимаемые упрощения существенно исказят физическую картину процесса. Поэтому необходимо создание математической модели, описывающей поведение мелких частиц в слое сыпучего материала, подверженного вибровоздействию.

Из ряда научных работ данного направления можно выделить исследования В.А. Огурцова и его коллег [4, 5]. В них движение мелких частиц по высоте виброоживленного сыпучего слоя представлено несимметричным одномерным Марковским процессом, учитывающим диффузионные и сегрегационные механизмы движения. При этом предложена модель, которая легла в основу метода расчёта классификации сыпучих материалов на виброгрохотах, который, в свою очередь, учитывает полидисперсный фракционный состав подситового продукта, переменную высоту грохотимого слоя и условия проникновения частиц различной крупности через отверстия сита.

Среди новых и перспективных исследований в области грохочения следует отметить разработку сегрегационного виброклассификатора (бесситового грохота), предложенного авторским коллективом в составе: И.И. Блехмана, Л.А. Вайсберга, К.С. Якимова и др. Данный классификатор позволяет решать технологические задачи тонкой классификации, выходящие за рамки возможностей обычных грохотов. В отличие от грохотов, у данного классификатора нет проблем с износом сит и забивкой их отверстий; интенсивность вибрации (энергозатраты) - ниже. В отличие от сепарации на виброплоскости, разделение происходит не в монослое, а в «толстом слое» материала, что обеспечивает высокую производительность и возможность классификации мелких материалов. К сожалению, данная разработка пока явно не применима для грохотов горнорудной отрасли.

Совершенно новые принципы возбуждения сыпучего материала применяются в грохотах с использованием технологии «Kroosher», при которой грохот обладает свойствами резонансной многочастотной колебательной системы. При этом среди заявляемых преимуществ приводятся большая производительность, высокая эффективность грохочения, гарантированный эффект самоочистки сита и т.д.

Перспективными также являются разработки в области тонкого грохочения, использование которого приводит к значительному улучшению технологических параметров сор-

тировки, например в области обогащения различных руд [1]. Лидером в этой области является ОАО «Механобр-Техника» (РФ), а также корпорации «Derrick» (США), «Knelson-Sizetec», «Crush» и некоторые другие. К сожалению, данный тип грохочения далеко не универсален и используется только в определённых промышленных условиях.

Кроме моделирования самого процесса грохочения (как исследовательской составляющей), значительные инновации в настоящее время можно отметить в области непосредственного моделирования конструкций грохотов и технологии грохочения.

В настоящее время появились типовые конструктивные решения и программно-аппаратные комплексы, которые позволяют ещё на стадии проектирования рассчитать конструкцию грохотов с высокой степенью надёжности и с достаточной достоверностью спрогнозировать технологические показатели их работы. Среди таких программных средств можно отметить комплекс LS-DYNA, или программный комплекс ADAMS, позволяющий на основе 3D-конструкторской проработки грохота построить его кинематическую схему и, выполняя в автоматическом режиме численное интегрирование уравнений движения короба, получить траекторию движения выбранных точек его конструкции.

Таким образом, мы видим, что исследования в области грохочения имеют значительный объём и множество положительных результатов (выше приводится только небольшой срез аналитики автора по данным работам). Однако необходимо отметить два существенных недостатка на сегодняшний день в этой области научно-прикладных исследований. Первый – отсутствие общепринятой обобщающей теории грохочения. Второй – разобщённый подход при проведении теоретических и практических исследований в области совершенствования технологий и техники грохочения (то есть математические модели грохочения остаются слишком громоздкими для практического использования, а практические разработки обычно носят узконаправленный характер и не учитывают всех основных теоретических концепций).

По нашему мнению, выходом из этой ситуации является использование программных средств имитационного моделирования, построенных на основе развитого математического аппарата. Эти программные продукты позволяют решать одновременно задачи как прикладного, так и научного характера.

Примером может служить пакет Comsol Multiphysics - программа для конечно-элементных расчётов сложных научно-технических задач [6].

Хорошие результаты даёт комплекс Bulk Flow Analyst™ - пакет моделирования сыпучих сред методом дискретных элементов (МДЭ или DEM – Discrete ElementMethod) общего назначения. Пакет служит для моделирования динамики движения и механического взаимодействия большого количества дискретных частиц с учётом воздействия движущихся элементов конструкции машины или аппарата на сыпучий материал [7].

Можно назвать ещё несколько перспективных программных пакетов (обычно принадлежат американским разработчикам, поэтому практически неизвестны в РК и РФ, и имеют значительную стоимость), среди которых присутствует достаточно качественный комплекс имитационного моделирования AnyLogic (интерфейс - английский, разработка - РФ, Санкт-Петербург) [8].

Использование данного комплекса в исследованиях новых технологий грохочения со сложным возбуждением сыпучего материала (проводимых в ВКГТУ им. Д. Серикбаева) позволило получить некоторые новые качественные результаты. Так, например, практически доказано, что упрощение формы зёрен материала до шарообразной снижает достоверность результатов моделирования на 22-48 %. Другие результаты пока ещё носят предварительный характер, поэтому здесь не приводятся.

Сами исследования в области грохочения со сложным возбуждением также носят инновационный характер (получено три инновационных патента) и являются направлением, позволяющим не только создавать новые сортирующие агрегаты, но и модернизировать существующие. Основным эффектом, полученным в результате данных исследований, является снижение энергозатрат на процессы грохочения [9-11].

Данные исследования в ВКГТУ проводятся как часть обобщающего научного исследования по гранту МОН РК (договор № 84-210-13 от 10.04.13) на тему «Технология раздельного приготовления бетонов с использованием природного и техногенного сырья».

В заключение можно сделать вывод (опираясь на анализ современных информационных источников и собственных наработок), что именно программные средства имитационного моделирования (с обязательным использованием накопленных теоретических изысканий), возможно, позволят в дальнейшем прийти к единой обобщённой теории грохочения, которая, в свою очередь, позволит перейти на качественно новый уровень исследований и разработок в области техники и технологий грохочения как для строительной, так и для других отраслей промышленности.

Список литературы

1. Иванов А.И. Современные виброгрохоты НПО «РИВС» // Горный журнал. – 2008. – Спец. выпуск.
2. Гончаревич И.Ф. Теория вибрационной техники и технологии /И.Ф. Гончаревич, К.В. Фролов. – М.: Наука, 1981. – 319 с.
3. Ахмадиев Ф.Г. Математическое моделирование и оптимизация процессов разделения дисперсных материалов на многоярусных ситовых классификаторах. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (в строительстве) / Ф.Г. Ахмадиев, Р.Ф. Гиззятов // Известия КГАСУ. – 2011. – № 4(18).
4. Огурцов В.А. Исследование распределения частиц мелкой фракции в слое сыпучего материала на поверхности сита виброгрохота // Вестник ИГЭУ. – Вып. 3. – 2008.
5. Огурцов В.А. Моделирование движения частиц при виброгрохочении на основе теории цепей Маркова // Строительство и реконструкция. – 2011. – № 5 (37). – Орёл, 2011.
6. <http://www.comsol.com>.
7. <http://www.axis-tech.ru>.
8. <http://www.anylogic.ru>.
9. Вавилов А.В. Основные положения создания теории сортировки нерудных материалов на грохотах / А.В. Вавилов, Д.Е. Елемес, О.А. Коробова // Состояние и перспективы развития механики и машиностроения в Казахстане: Материалы Междунар. науч. конф. – Алматы: КазНТУ, 2007. – Т. 2. – С. 194-197.
10. Вавилов А.В. Спиральные вибрационные грохоты / А.В. Вавилов, Н.Т. Сурашов, Д.Е. Елемес. – Алматы: КазНТУ, 2010. – 126 с.
11. Вавилов А.В. Разработка перспективной конструкции спирального вибрационного грохота с дополнительным возбудителем вибрации / А.В. Вавилов, Н.Т. Сурашов, Д.Е. Елемес и др. // Вестник КазНТУ им. К.И. Сатпаева. – 2010. – № 3. – Алматы, 2010.

Получено 18.03.2014

УДК 656.053.53

Е.Б. Ибраев, А.А. Макенов
ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ПАРКОВОЧНОГО ПРОСТРАНСТВА В ГОРОДЕ УСТЬ-КАМЕНОГОРСКЕ

Рост автомобильного парка и увеличение объема перевозок в Республике Казахстан

происходит в условиях отставания темпов развития дорожной инфраструктуры. Так, если обеспеченность населения Республики Казахстан легковыми автомобилями выросла с 4,7 единиц в 1990 г. до 21,3 единиц на 100 человек постоянного населения в 2012 г., то протяженность путей сообщения общего пользования автомобильного транспорта за этот период возросла незначительно[1]. При этом наибольшая концентрация индивидуальных легковых автомобилей наблюдается в городах, где они все чаще поглощают открытые пространства, осложняя контакт человека с природным окружением и снижая потребительские качества гражданских зданий.

Известно, что показателем автомобилизации является степень насыщения страны или города автомобилями, определяемая числом всех видов автомобилей, приходящихся на 1000 чел. Однако чаще используют показатель автомобилизации, определяемый числом легковых автомобилей, приходящихся на 1000 чел. [2].

Динамика роста численности населения города Усть-Каменогорска за последние 5 лет представлена на рис. 1. Вместе с тем, в генеральном плане города предусматривается рост численности населения до 400 тысяч человек на расчетный срок - 2020 год [3].

В 2012 году отмечается значительный рост количества легковых автомобилей, что вызвано ростом благосостояния населения, его возросшей подвижностью и естественным стремлением людей к повышению комфорта и скорости передвижения (рис. 2).

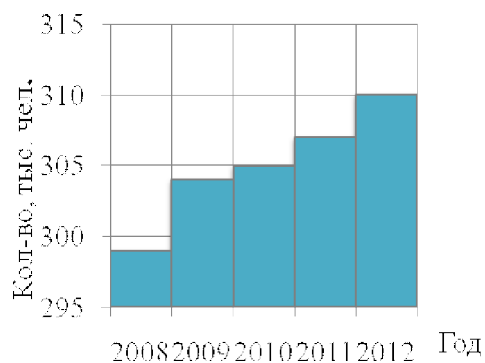


Рисунок 1 - Динамика роста численности населения города Усть-Каменогорска

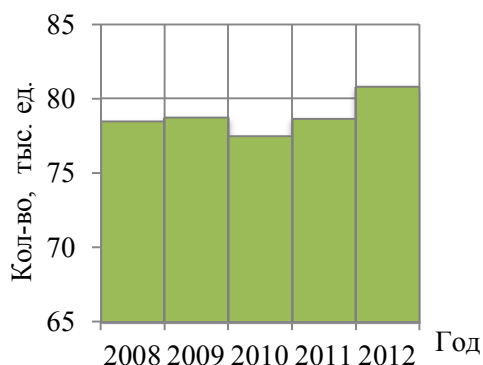


Рисунок 2 - Динамика роста количества легковых автомобилей в городе Усть-Каменогорске

Показатель автомобилизации города Усть-Каменогорска за рассматриваемый период изменялся в следующих пределах (табл. 1).

Таблица 1

Показатель автомобилизации в городе Усть-Каменогорске

Год	Численное значение, авт./1000 чел.
2008	263
2009	259
2010	254
2011	256
2012	261

Следует отметить, что специалистами в области дорожного движения установлено, что при уровне автомобилизации 150-200 авт. на 1000 жителей площадь, занимаемая сто-

янками автомобилей, превышает площадь городских улиц и дорог, используемых для движения [4].

В связи с этим, проблема размещения стоящих автомобилей, исходя из показателя уровня автомобилизации, характерна и для нашего города. Более того, автомобилизация города Усть-Каменогорска привела к тому, что недостаточная емкость существующих автомобильных стоянок частично компенсируется размещением автотранспортных средств на тротуарах, газонах и детских площадках.

Вместе с тем значительное превышение спроса на количество стояночных мест над предоставляемым его количеством в настоящее время является отличительной чертой для многих городов. Размещение стоящих автомобилей является одной из самых трудных проблем современного транспортного обслуживания, а возможно и градостроительства в целом. Ее решение требует больших затрат, территорий, значительных объемов реконструкционных работ.

В условиях, когда наличие свободного пространства на городской территории стремительно уменьшается, а стоимость городской земли непрерывно возрастает, актуальным становится вопрос о создании единой парковочной системы в городах.

Для создания подобной системы для города Усть-Каменогорска нами была изучена текущая ситуация на автомобильных стоянках города. В этих целях были разработаны и апробированы методики наблюдения на улично-дорожной сети (УДС) города в соответствии с основной классификацией временных стоянок: околотротуарные и внеуличные.

Для того чтобы не приводить описание данных методик здесь в полном объеме, отметим лишь, что основной их целью является получение данных по продолжительности пребывания автомобилей на стоянке путем записи государственных номерных знаков.

В качестве объекта исследования околотротуарных стоянок нами была выбрана стоянка перед супермаркетом «Колос» (пр. Ауэзова, 15), расположенная вдоль магистральной улицы общегородского значения, - проспект Ауэзова. Данная стоянка рассчитана на 22 машиноместа при расстановке транспортных средств (ТС) под углом 69°, о чем информирует горизонтальная разметка 1.1, обозначающая границы стояночных мест. На стоянке действует ограничение продолжительности стоянки - 30 мин. Способ постановки ТС на стоянку - передним ходом, без заезда на тротуар (рис. 3).

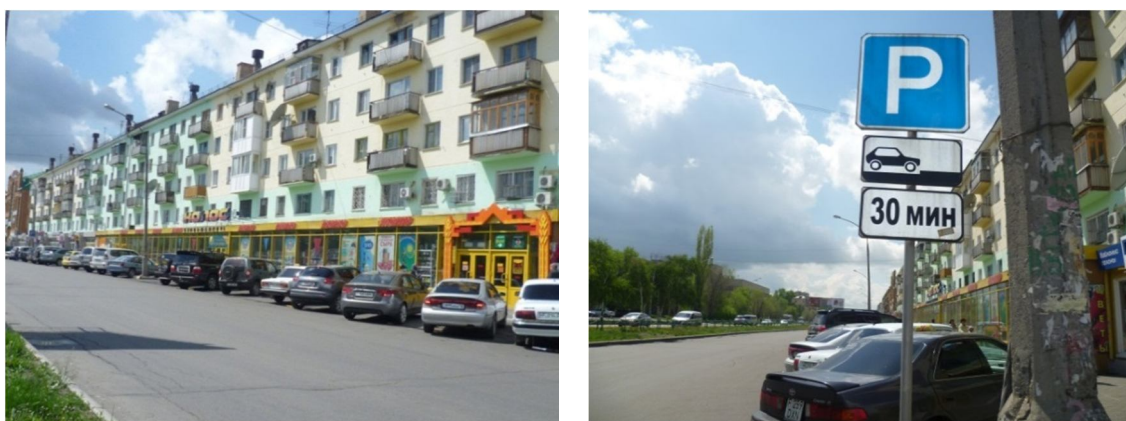


Рисунок 3 - Вид на околотротуарную стоянку перед супермаркетом «Колос»

Так как автомобильная стоянка обслуживает торговые предприятия, то пиковым пери-

одом загрузки является первая половина дня в субботу. В связи с этим нами были проведены натурные наблюдения в субботу в период времени с 10 до 12 часов. Результаты натурных наблюдений были занесены в протокол (табл. 2).

Таблица 2

Фрагмент протокола подсчета транспортных средств по номерным знакам на околотротуарной стоянке

Место: проспект Ауэзова, 15

Объект: околотротуарная стоянка перед супермаркетом «Колос»

Дата: 04.05.13. Время: с 10 до 12 ч.

Фамилия учетчика: Ибраев Е.Б.

№	Номерной знак ТС	Время прибытия t_{np}	Время убытия t_{yb}	Продолжительность паркирования, $t_{парк}$ мин
...
20	F 180 DXN	10:13	10:25	12
21	F 910 XHM	10:14	10:18	4
22	F 043 LBN	10:15	10:30	15
...

В результате натурных наблюдений на околотротуарной стоянке перед супермаркетом «Колос» нами были определены основные показатели функционирования стоянки (табл. 3) [5].

Таблица 3

Основные показатели функционирования стоянки

Показатель функционирования стоянки	Единица измерения	Расчетная формула	Численное значение
Суммарное количество припаркованных ТС	ед.	$\sum \kappa = \kappa_{нач} + \kappa + \kappa_{кон}$	94
Средняя продолжительность паркирования	мин	$t_{cp} = \sum_{i=1}^{\kappa} t_i / \kappa$	12
Оборачиваемость одного стояночного места	ед./день	$\kappa_{об} = T_{сут} / t_{cp}$	10
Средний интервал прибытия на стоянку автомобилей	мин	$Y_{cp} = \sum_{i=1}^{\kappa} Y / (\kappa - 1)$	1,53
Среднесуточная наполняемость	ед.	$N_{cp} = \sum_{i=1}^{T_{сут}} N_i / T_{сут}$	38
Максимальная загрузка (максимальное количество занятых мест в течение суток)	ед.	N_{MAX}	22
Коэффициент дневной неравномерности загрузки стоянки	-	$\kappa_{нер}^{дн} = N_{MAX} / N_{cp}$	0,58

Степень загрузки стоянки	-	$C_{загр} = N_{ср} / N_{МАХ}$	1,73
--------------------------	---	-------------------------------	------

Примечание. K – количество автомобилей, припарковавшихся на данной стоянке, ед.; $K_{нач}$, $K_{кон}$ – соответственно количество автомобилей, находящихся на стоянке на момент начала и завершения проведения наблюдения, ед.; t_i – продолжительность парковки i автомобиля на стоянке, мин.; $T_{сут}$ – количество часов наблюдений за стоянкой в день, ч; N – количество автомобилей в час i .

Для наглядного изображения распределения количества ТС по времени парковки нами была использована методика И.Н. Пугачева с некоторой корректировкой[6]:

- 1 класс – стоянка от 0 до 10 мин;
- 2 класс – от 11 до 20 мин;
- 3 класс – от 21 до 30 мин;
- 4 класс – свыше 30 мин.

Диаграмма распределения количества автомобилей по классам, на которой четко видны различия 1 (от 0 до 10 мин) и 4 (свыше 30 мин) классов, приведена на рис. 4.

Для выявления «пиковых» моментов времени загрузки автомобилями 1 класса была построена диаграмма времени прибытия паркующихся ТС (рис. 5), на которой видно, что наибольшая загрузка автомобилями 1 класса приходится на интервал времени от 10:28 до 11:07 час.

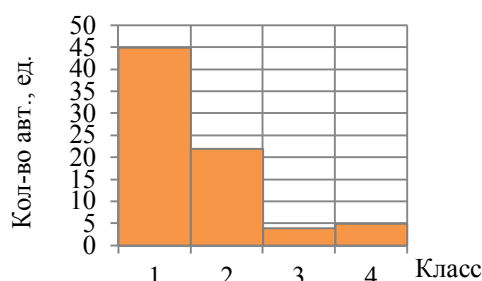


Рисунок 4 - Диаграмма распределения количества автомобилей по классам

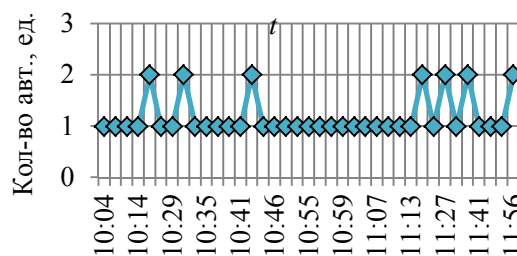


Рисунок 5 - Распределение количества прибывающих ТС (1 класс) на стоянку по времени

Следует отметить, что УДС, без того перегруженная движением транспортных средств, не может реализовать в полном объеме свою пропускную способность из-за большого числа паркующихся на ней автомобилей, в том числе и в так называемых «парковочных карманах».

Данное утверждение основывается на результатах исследования на околотротуарной стоянке перед супермаркетом «Колос». Так средняя продолжительность парковки на исследуемой стоянке составила 12 мин, а средний интервал прибытия - около 1,5 мин. Это свидетельствует о том, что одна ячейка околотротуарной стоянки занимает и освобождается многократно в течение короткого промежутка времени. При этом для маневров въезда и выезда автомобиля на стоянку используются соседние полосы проезжей части, что и приводит к снижению пропускной способности улицы общегородского значения - проспекта Ауэзова. Кроме того, маневр выезда автомобиля со стоянки затруднен из-за большого угла расстановки ТС, что значительно снижает безопасность движения на данном участке улицы.

Во время проведения натурных наблюдений нами также зафиксированы случаи, когда водители ТС, подавая сигнал световым указателем с целью припарковаться, были вынуждены проехать стоянку из-за отсутствия свободных машиномест. При этом можно предположить, что водители данных автомобилей приняли решение либо отказаться от

посещения данного объекта (супермаркета «Колос»), либо оставить свой автомобиль в прилегающих дворах.

В качестве мероприятий по совершенствованию данной парковки нами предлагается: во-первых, уменьшить угол расстановки ТС с 69° до 30° ; во-вторых, оборудовать внеуличную стоянку в пределах пешеходной доступности.

Последнее мероприятие обуславливается политикой, проводимой местной исполнительной властью. Так, в июне 2010 года с целью увеличения пропускной способности на дорогах и улицах в центре города было установлено порядка 180 дорожных знаков, запрещающих остановку и стоянку ТС вне специальных автостоянок. Предполагалось, что автовладельцы будут вынуждены оставлять свои ТС на платных стоянках. Однако данное ожидание не оправдалось, отчасти из-за того, что большинство данных стоянок находится в глубине жилой застройки.

Поэтому с целью обеспечения данного объекта дополнительными машиноместами, а также учитывая большую концентрацию торговых предприятий на участке от пересечения проспекта Ауэзова с улицей Крылова до пересечения с улицей Кайсенова (торговый дом «Эмилия», магазин «Ауэзовский», торговый павильон проспект Ауэзова, 11/а, а также кафе «Масленица»), нами была рассмотрена возможность организации внеуличной стоянки на территории бывшего рынка, расположенного за торговым домом «Эмилия» (рис. 6, 7).



Рисунок 6 - Вид на территорию месторасположения предлагаемой внеуличной стоянки

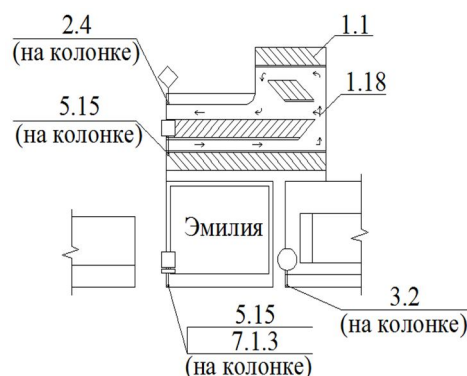


Рисунок 7 - Планировочное решение организации внеуличной стоянки за торговым домом «Эмилия»

Следует отметить, что на территории бывшего рынка планируется возведение торгового дома. Решение о строительстве данного объекта массового обслуживания, на наш взгляд, принималось без учета пропускной способности УДС и наличия свободной территории для устройства автомобильной стоянки для его обслуживания. В свою очередь, устройство предлагаемой внеуличной стоянки для удовлетворения существующей потребности в машиноместах является наиболее целесообразным применением данной территории.

С целью анализа существующего состояния организации паркирования на внеуличных стоянках города Усть-Каменогорска нами были проведены натурные наблюдения на следующих объектах: 1) стоянка общего пользования, обслуживающая объект культуры – «Областная мечеть» (пр. Сатпаева, 90); 2) ведомственная стоянка, принадлежащая градообразующему предприятию ТОО «Казцинк» (ул. Промышленная, 1).

На первом объекте нами была выявлена острая потребность в дополнительных машиноместах. Суммарное количество ТС, припаркованных на исследуемой территории в пиковый период загрузки (полуденное время пятницы), составило 206 единиц. При этом объект располагает 114 оборудованными стояночными местами. В то время как строительные требования предусматривают норму обеспеченности парковочными местами для объектов культуры и досуга (в частности для мечетей и церквей) - 1 машиноместо на 12,5-15 единовременных посетителей [7]. Таким образом, согласно строительным нормам рекомендуемое количество стояночных мест составляет: $3\ 000/12,5 = 240$ машиномест.

Для удовлетворения потребности в машиноместах на данном объекте нами предлагается устройство плоскостной стоянки на месте нефункционирующей АЗС «Мостопоезд» компании «Востокнефтеснаб».

Следует отметить, что земельная инспекция области провела проверку и установила, что участок был занят самовольно. Специализированный межрайонный экономический суд по Восточно-Казахстанской области обязал руководство «Востокнефтеснаба» освободить самовольно занятый земельный участок площадью 415 кв. метров - засыпать котлован, демонтировать сооружение трансформаторной подстанции и 227 кв. метров подъездов путей асфальтового покрытия [8]. Таким образом, при реализации данного проекта не потребуются дополнительных затрат на демонтаж АЗС.

Преимуществом данного месторасположения также является возможность использования стоянки посетителями Этнопарка.

Планировочное решение предлагаемой стоянки представлено на рис. 8.

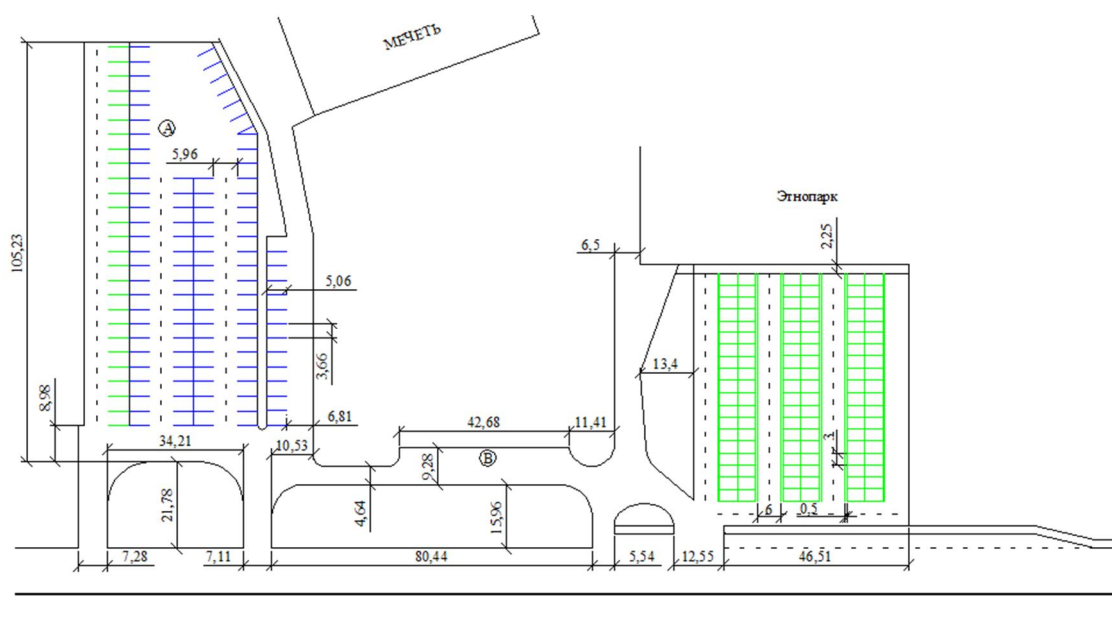


Рисунок 8 - Планировочное решение предлагаемой внеуличной стоянки (пр. Сатпаева, 90)

На ведомственной стоянке предприятия ТОО «Казцинк» наблюдения показали, что из 755 автомобилей, припаркованных у предприятия на момент проведения натурного наблюдения, только 132 автомобиля размещаются на двух заасфальтированных плоскостных стоянках, 312 автомобилей размещаются на трех плоскостных стоянках доста-

точно хорошего качества, но без асфальтового покрытия, 311 автомобилей размещаются в неудовлетворительных условиях, из которых 89 автомобилей припаркованы вдоль обочин проезжей части и между стволами деревьев.

Для обеспечения предприятия дополнительными оборудованными стояночными местами, учитывая его финансовые возможности, нами предлагается устройство многоуровневой стоянки. Данное мероприятие обойдется предприятию приблизительно в полмиллиарда тенге. Размер капитальных вложений определен путем перемножения количества стояночных мест на расчетную стоимость одного машиноместа (согласно существующему проекту многоэтажного гаража-стоянки): $370 \cdot 8 \cdot 000 \cdot 150 = 444$ млн тг.[9].

Вышеописанные мероприятия являются лишь частными случаями решения проблемы размещения стоящих автомобилей. Однако очевидно, что реализация отдельных «точечных мероприятий» не будет способствовать развитию единой парковочной системы в городах. Поэтому, основываясь на анализе зарубежного опыта организации автомобильных стоянок и результатах натурных наблюдений, нами была установлена целесообразность применения для города Усть-Каменогорска следующего комплекса мероприятий:

1. Решить задачу краткосрочного хранения автомобилей при посещении предприятий обслуживания, по нашему мнению, возможно путем устройства внеуличной стоянки, которая бы обслуживала группу предприятий (по зональному признаку). Как в случае с околотротуарной стоянкой перед супермаркетом «Колос», она не должна находиться на большом отдалении (в пределах пешеходной доступности) и об ее месторасположении должны информировать соответствующие дорожные знаки.

2. Решением проблемы нехватки мест на внутридворовых стоянках может служить возведение новых гаражных комплексов, либо многоуровневых стоянок по аналогии с программой «Народный гараж» в Москве. Однако такие мероприятия потребуют наличия свободных территорий и больших капитальных вложений. В этой связи нами предлагается в тех дворах, где устройство плоскостной стоянки не будет противоречить требованиям нормативных документов, возводить ее за счет собственных средств владельцев автомобилей. При этом всеми разрешительными документами должны будут заниматься местные исполнительные органы.

У двух вышеперечисленных мероприятий лимитирующим фактором выступает удаленность от объекта притяжения, поэтому в каждом отдельном случае должно проводиться детальное изучение на соответствие нормативным и санитарно-гигиеническим требованиям. Также оба вида этих стоянок могут и должны будут использоваться в дневное время посетителями предприятий обслуживания, а в ночное время - жителями прилегающих домов.

3. Так как индивидуальный автомобиль помимо культурно-бытовых поездок используется для поездки на работу, необходимо обеспечить стояночные места у мест приложения труда. Во-первых, это касается крупных градообразующих предприятий. Во-вторых, в связи с тем, что все большее количество женской половины населения городов управляет ТС, необходимо пересмотреть количество стояночных мест у предприятий с преимущественно женским коллективом.

4. Необходимо развивать многоуровневые стоянки в двух направлениях:

а) муниципальные стоянки в местах массового посещения. Например, возведение многоэтажной стоянки в районе центрального рынка города Усть-Каменогорска позволит частично разгрузить улицу Казахстан и прилегающие к рынку территории. Расположить ее рекомендуется на существующей плоскостной стоянке перед торговым домом «Центральный» (улица Казахстан, 72). При этом в пределах пешеходной доступности будут

располагаться такие объекты, как площадь Республики, парк им. Джамбула и стадион «Алтай» (расстояние пешеходных подходов от стоянки менее 400 м);

б) ведомственные стоянки. Примером может служить предлагаемый проект по предприятию «Казцинк».

5. Большинство городов, в том числе и город Усть-Каменогорск, застраивалось плотными жилыми массивами в расчете на развитие общественного транспорта, тем самым создавая большие устойчивые пассажиропотоки. Поэтому проблема нехватки стояночных мест должна решаться в комплексе с мероприятиями по укреплению позиций общественного транспорта и повышению качества его услуг.

6. Необходимо создание площадей под автомобильные стоянки в земельном фонде города Усть-Каменогорска. Специалисты в области организации дорожного движения отмечают необходимость закрепления обязательности проведения и усиления юридического статуса государственной экспертизы транспортных разделов генеральных планов.

Данные мероприятия позволяют подойти комплексно к созданию единой парковочной системы в городе Усть-Каменогорске.

Список литературы

1. Агентство Республики Казахстан по статистике // Источник в интернете: <http://www.stat.gov.kz>.
2. Кликовштей Г.И. Организация дорожного движения: Учеб. для вузов / Г.И. Кликовштей, М.Б. Афанасьев. – М.: Транспорт, 2001. – 231 с.
3. Генеральный план города Усть-Каменогорска Восточно-Казахстанской области / Утв. Постановлением Правительства РК № 1749 от 3 ноября 2009 года // Источник в интернете: <http://adilet.zan.kz>.
4. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов: Учеб. для студентов вузов. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
5. Тарасюк Ю.В. Повышение эффективности функционирования стоянок автомобильного транспорта: Дисс. ... канд. техн. наук. – Волгоград, 2004. – 238 с.
6. Пугачев И.Н. Определение объема выделения и резервирования городских территорий для парковки и хранения транспортных средств в районах новой и сложившейся застройки // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения: Межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. П.А. Пегина. – Хабаровск: Изд-во ТО-ГУ, 2009. – № 9. – С. 23-41.
7. СНиП РК 3.01.01-2008 Градостроительство: Планировка и застройка городских и сельских поселений. – Астана, 2008. – 100 с.
8. Источник в интернете: <http://www.inform.kz>.
9. Гаражи-стоянки для легковых автомобилей, принадлежащих гражданам: Пособие для проектирования / АО «ЦНИИпромизданий». – Москва, 1998. – 105 с.

Получено 8.04.2014

УДК 656.142

А.А. Макенов, А.Е. Нугуманова

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск

ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВИЙ ДВИЖЕНИЯ ПЕШЕХОДОВ НА НАЗЕМНЫХ ПЕРЕХОДАХ В ГОРОДЕ УСТЬ-КАМЕНОГОРСКЕ

Движение пешеходов во многом определяет структуру улично-дорожной сети города и предъявляет свои специфические требования к методам и средствам организации до-

рожного движения. Выбор оптимального варианта организации пешеходного движения призван, прежде всего, повысить безопасность на улицах самой распространенной и наиболее уязвимой категории участников дорожного движения (пешеходов), а также обеспечить рациональное использование пешеходных путей сообщения и ресурсов времени пешеходов [1].

Непрерывный рост городов и увеличение общей подвижности населения выдвигают задачу обеспечения безопасности дорожного движения в число наиболее актуальных и сложных проблем. Использование одних и тех же путей сообщения пешеходами и транспортными средствами приводит к повышению степени опасности движения, что проявляется в виде ДТП и задержек движения [2].

Пешеходы являются важным регулятором, воздействующим на организацию дорожного движения в городах. Поток людей на улицах, зачастую не рассчитанных на современные объемы движения, заполняет не только тротуары, но и проезжую часть. Это препятствует нормальному процессу дорожного движения и является одной из причин дорожного травматизма.

Стремительный рост транспортных и пешеходных потоков в городах сопровождается одновременным ростом числа дорожно-транспортных происшествий (ДТП). За 2013 год зарегистрировано 13 108 ДТП. Это на 65 % больше, чем за 2012 год. Из них наезды на пешеходов составляют 5 215 случаев или 34 %. Наибольшее количество ДТП совершено в населенных пунктах – 10 398 (60 %) [3].

Наезды на пешеходов, как правило, характеризуются [4]:

- большой опасностью, так как доля погибших пешеходов всегда больше, чем их доля в общем числе ДТП;
- большой взаимосвязью их возникновения с условиями движения и поведением участников.

С целью выявления основных недостатков в организации движения пешеходов и особенностей перехода ими проезжей части нами проведены специальные исследования на объектах улично-дорожной сети города Усть-Каменогорска, включающие статистический анализ ДТП, анкетный опрос пешеходов и натурные наблюдения.

Одной из причин ДТП в городах является конфликт между транспортными и пешеходными потоками. Так, в городе Усть-Каменогорске наезды на пешеходов составляют 54 % ДТП (табл.1). Эти происшествия имеют более тяжкие последствия по сравнению с другими видами ДТП.

Таблица 1

Распределение ДТП по видам

Вид ДТП	Год					Доля, %
	2008	2009	2010	2011	2012	
Столкновение ТС	280	230	270	245	243	24
Опрокидывание ТС	65	60	68	72	63	6
На стоящее ТС	20	36	30	41	32	3
Наезд ТС на препятствие	75	84	82	73	81	8
Наезд ТС на пешехода	520	535	482	510	530	54
Наезд на велосипедиста	15	23	20	29	21	2
Иные виды происшествий	20	42	48	30	30	3

Анализ статистических данных о ДТП с участием пешеходов показывает, что наезды на

пешеходов распределяются (по местам их возникновения) следующим образом (табл. 2).

Большая доля происшествий с пешеходами приходится на пешеходные переходы (31 %), зоны остановок общественного транспорта (22 %), нерегулируемые перекрестки (22 %), регулируемые перекрестки (13 %). Это свидетельствует не о высокой их опасности, а указывает на значительные недостатки в организации и контроле пешеходного движения (улицы составляют преобладающую часть улично-дорожных сетей города).

Анализ статистических данных о ДТП с участием пешеходов показывает, что наезды на пешеходов распределяются (по причинам) следующим образом (табл. 3).

Таблица 2

Распределение ДТП по месту их возникновения

Место возникновения ДТП	Год					Доля, %
	2008	2009	2010	2011	2012	
Мост	45	42	46	50	39	2
Зона остановки общественного транспорта	205	213	200	190	215	22
Пешеходный переход	302	315	311	320	295	31
Перекрёсток, регулируемый АСУД	85	79	88	75	90	7
Регулируемый перекрёсток	100	103	112	122	110	13
Нерегулируемый перекрёсток	215	210	201	221	205	22
Насыпь высотой более 3 м	48	38	42	32	46	2

Таблица 3

Распределение ДТП по причинам

Причина ДТП	Год					Доля, %
	2008	2009	2010	2011	2012	
Переход проезжей части в неустановленном месте	510	536	520	540	538	54,5
Переход при запрещающем сигнале светофора	110	148	135	140	141	14,9
Переход перед близко идущим транспортом	101	100	98	105	95	10,9
В состоянии алкогольного опьянения	83	86	80	79	84	8
Ходьба по проезжей части улицы или дороги	91	90	95	93	88	9,25

Основная часть ДТП в городе происходит по вине пешеходов. Зачастую пешеходы допускают такие нарушения, как переход проезжей части в неустановленном месте (54,5 %), переход при запрещающем сигнале светофора (14,9 %), переход перед близко идущим транспортом (10,9 %), ходьба по проезжей части улицы или дороги (9,25 %). Причиной несчастных случаев с пешеходами чаще всего являются действия самих пешеходов. Наезд в этом случае происходит в результате технической невозможности полной остановки транспортных средств.

Вторым этапом исследования является анкетный опрос пешеходов, применение которого с соблюдением определенных требований позволяет получить достоверные сведения об объекте исследования. К основным требованиям можно отнести следующие [5]:

- постановка точных и ясных вопросов, соответствующих задачам исследования;
- проведение инструктажа опрашиваемых пешеходов, где основное внимание уделяется объяснению целей и задач исследования, важности объективного, точного ответа на вопросы анкеты;

- анонимность опроса;
- обеспечение необходимой выборки;
- возможность машинной обработки.

Указанные требования были учтены при разработке анкеты и непосредственно при проведении опроса пешеходов. Необходимое число опрашиваемых пешеходов было определено при помощи таблицы достаточных чисел. По значению вероятности $p=0,95$, принимая значения допустимой ошибки $\varepsilon=0,05$, находим, что достаточно провести анкетный опрос 384 чел. [6].

Результаты опроса 500 пешеходов с последующей обработкой ответов на ЭВМ показали, что 62,2 % опрошенных, не колеблясь, признались в том, что действительно подвергают свою жизнь опасности. В 63,8 % случаев пешеходы нарушают Правила дорожного движения Республики Казахстан (ПДД РК) сознательно, понимая, что своими действиями создают аварийную ситуацию. На вопрос анкеты: «Чем вы объясните нарушение ПДД?», пешеходы ответили: «торопился» - 21,2 %, «большое расстояние между переходами» - 18 %, «задумался» - 13,2 %, «пренебрег сигналами светофора» - 8,8 %, «все всегда здесь проходят» - 8,2 %, «сам не знаю» - 7,8 %. На вопрос: «Какое нарушение ПДД вы допустили (допускаете)?», 54,5 % опрошенных ответили, что переходят проезжую часть в неустановленных местах; 14,9 % - при запрещающем сигнале светофора; 10,9 % опрошенных ответили, что переходили проезжую часть перед близко идущим транспортом; 9,2% - передвигаются по проезжей части; 3,5 % - неожиданно выходят из-за стоящих транспортных средств, дорожных сооружений, зеленых насаждений. Вместе с тем детальное изучение причин ДТП показывает, что внезапное появление пешеходов перед близко идущим транспортом является весьма распространенным видом нарушения.

При возникновении угрозы наезда транспортных средств 17,7 % пешеходов продолжают с большой осторожностью переходить проезжую часть; 11,6 % нарушителей возвращаются на тротуар; 4,4 % - пытаются упредить развитие конфликтной ситуации, начинают переход при желтом или даже красном сигнале светофора. Поведение пешеходов бесконечно разнообразно, поэтому водителям ТС трудно прогнозировать их действия. Непредсказуемость поведения пешеходов вынуждает водителей ТС нарушать ПДД, поэтому они, нередко, не пропускают пешеходов на обозначенных пешеходных переходах (14,6 %). Основными мерами, которые могут способствовать снижению количества нарушений ПДД, пешеходы считают: увеличение количества подземных пешеходных переходов (54,2 %); осуществление постоянного контроля за движением пешеходов работниками дорожной полиции, внештатными инспекторами (21,6 %); улучшение инженерного обустройства пешеходных переходов (11,9 %); наложение денежного штрафа (9,7 %).

В результате проведения анкетного опроса установлены следующие признаки, характерные для пешеходов при переходе проезжей части: возвращение с проезжей части на тротуар, перебегание проезжей части, переход при желтом и красном сигнале светофора, переход перекрестка по диагонали, неуверенное движение при переходе.

Основная часть ДТП происходит из-за недисциплинированности водителей ТС и пешеходов, сознательного нарушения ими ПДД. Значительная доля происшествий совершается по вине пешеходов, и, зачастую, недостатки в организации их движения способствуют этому. Так, например, довольно распространенными являются случаи слишком большого удаления друг от друга обозначенных пешеходных переходов. При существующей системе организации движения в городе пешеходы бывают просто вынуждены нарушать правила перехода. Следовательно, определенная часть нарушений ПДД РК обусловлена недостатками в организации движения (несоответствие режимов светофор-

ного регулирования и схем организации движения параметрам транспортных и пешеходных потоков, нежеланием водителей ТС и пешеходов уступить дорогу, недостатками инженерного оборудования и др).

Например, на пересечении улиц Казахстан и Кабанбай батыра города Усть-Каменогорска время разрешающего сигнала для пешеходов составляет 20 с, а для транспортных средств - 80 с (рис. 1). Это значительно превышает критическое время терпеливого ожидания пешеходов в городах, равное $t_{ожкр}=40$ с.



Рисунок 1 - Показания таймера остаточного времени горения сигнала светофора на пересечении улиц Казахстан и Кабанбай батыра

В условиях увеличения интенсивности движения и подвижности населения одной из основных задач по сокращению числа ДТП является обеспечение безопасности движения пешеходов при переходе ими проезжей части. С целью разработки новых форм и методов пропуска пешеходов через проезжую часть в различных дорожно-транспортных ситуациях необходимо:

- провести натурные наблюдения за дорожным движением в реальных условиях;
- оценить степень опасности движения пешеходов на наземных переходах;
- разработать практические рекомендации по обеспечению безопасности движения пешеходов на наземных переходах.

Это позволяет обеспечить одновременный учет взаимных интересов пешеходов и водителей ТС.

Список литературы

1. Буга П.Г. Организация пешеходного движения в городах: Учеб. пособие для вузов / П.Г. Буга, Ю.Д. Шелков. - М.: Высш. шк., 1980. - 232 с.
2. Клиновштейн Г.И. Организация дорожного движения: Учеб. для вузов / Г.И. Клиновштейн, М.Б. Афанасьев. - М.: Транспорт, 2001. - 247 с.
3. <http://www.zholpolice.kz/>

4. Коршаков И.К. Автомобиль и пешеход: анализ механизма наезда. – М.: Транспорт, 1986. – 22 с.
5. Макенов А.А. Изучение условий движения пешеходов в городе Семипалатинске /А.А. Макенов, А.В. Казаков // Вестник ВКТУ. – 1999. – № 2. – Усть-Каменогорск, 1999. – С. 83-86.
6. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. – М.: Наука, 1971. – 576 с.
7. <http://www.ksodd.ru>.

Получено 15.04.2014

УДК 624.012 , 626.01

Э.М. Мамбетов

Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры
им. Н. Исанова, г. Бишкек

ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ И СОВРЕМЕННЫЕ ПУТИ ИХ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

В связи с продолжительной эксплуатацией (50-60 лет) водных объектов Кыргызстана и недостаточными объемами проводимых ремонтно-восстановительных работ непрерывно идет процесс старения основных конструкций гидротехнических сооружений. Аварийность их превышает средний мировой показатель в 2,5 раза. Ежегодно происходит более 60 аварий гидротехнических сооружений с ущербом до несколько млн сомов [1-6]. Многие гидротехнические сооружения построены более 50-60 лет назад хозяйственным способом без проектов, поэтому мероприятия по эксплуатационной надежности и охране окружающей среды не разрабатывались. В связи с этим при изучении, исследовании природно-климатических, инженерно-геологических и экологических условий района дислокации сооружений необходимо иметь всестороннее представление о запасах воды, об их изменчивости и обеспеченности, об энергетическом потенциале, рельефе местности, свойствах пород, их пригодности в качестве основания и строительных материалов, влиянии освоения района на его климатические и прочие условия. В предыдущих работах авторов [6-9] рассмотрены новые подходы в моделировании напряженно-деформированного состояния гидросооружений, которые могут быть использованы при расчетах.

На основе полученных данных выясняются возможность освоения района, его экономическая характеристика, перспективы дальнейшего хозяйственного развития, целесообразный объем использования энергетического потенциала, эффективные конструктивно-компоновочные решения. Все это выполняется на следующем этапе работ: проектирования и научно-технического обоснования. Проектирование ведется в следующей последовательности. Сначала решаются принципиальные вопросы, влияющие на объем работ, сроки строительства объекта, экономический эффект его эксплуатации, включая влияние на природную среду, которое может иметь положительные и отрицательные последствия. Затем, используя прошлый опыт и аналоги, разрабатывается и сопоставляется необходимое число вариантов: схем использования энергетического потенциала реки, состава и типов сооружений и оборудования, способов производства работ. Определяется наиболее экономический вариант, принимается и утверждается проектное решение. В дальнейшем проект детализируется, параметры сооружений и оборудования уточняются на основе соответствующих расчетов: производительности, прочности, устойчивости, надежности, долговечности, экономичности, т.е. по новым предельным состояниям, предложенным нами [6-9].

Основной и наиболее трудоемкий вид работы – это строительство. Начинаются рабо-

ты, как правило, на пустом необжитом месте с создания так называемой инфраструктуры – комплекса гражданских и промышленных зданий и дорог, необходимых для ведения строительства основных гидротехнических объектов. Основные сооружения возводятся в условиях непрерывного воздействия воды и не всегда благоприятной климатической среды. Разновидности работы на стройке многочисленны, нередко взаимосвязаны. На определенных этапах появляется необходимость сочетания строительных работ с монтажом сложного оборудования и с последующей его временной эксплуатацией. Завершающим этапом строительства является сдача законченных объектов в постоянную эксплуатацию.

Эксплуатационная надежность и безопасность гидротехнических сооружений определяется средствами технической диагностики, основной задачей которой является раннее обнаружение и распознавание дефектов и неисправностей, что позволяет своевременно устранить их и тем самым предотвратить возможность аварийной ситуации.

Для получения достоверных данных о техническом состоянии гидротехнических сооружений необходимо проведение визуальных и инструментальных обследований с применением высокотехнологических методов и современных средств контроля. Инструментальные обследования включают в себя: фото- и видеосъемку гидротехнических сооружений с помощью навигационных приборов GPS; топографическую съемку гидроузла, применяя тахеометр; исследование ложа водохранилища с использованием эхолота. Гео-радаром можно определять локальные разуплотнения, области поврежденного грунта в сооружениях, зоны повышенного увлажнения и др. Оперативная оценка эксплуатационного состояния сооружения и его безопасности проводится путем сравнения измеренных (или вычисленных на основе измерений) количественных и качественных диагностических показателей с их критериальными значениями, а степень риска аварии – с нормативными. Перечень критериев зависит от степени опасности водного объекта и класса гидротехнических сооружений. Для водохранилищных и прудовых гидроузлов диагностические критерии безопасности можно определить по следующим показателям: прочность (в том числе фильтрационная); устойчивость; пропускная способность (для каналов, водосбросов) и т.д.

Имеются критерии для оценки уровня безопасности водохранилищ, которые представляют собой предельные значения количественных и качественных показателей состояния гидротехнических сооружений и условий их эксплуатации, соответствующих допустимому уровню риска. Для этой цели нами предложен полностью вероятностный метод расчета надежности и долговечности гидросооружений [6-9].

Наиболее важными критериями безопасности водохранилищ являются: превышение гребня плотины над расчетным уровнем и потенциальная опасность прорыва подпорного уровня воды гидротехнических сооружений.

Гидротехнические сооружения состоят из массивных надводных платформ, опирающихся на опоры сплошной, стержневой или решетчатой конструкции (рис. 1).

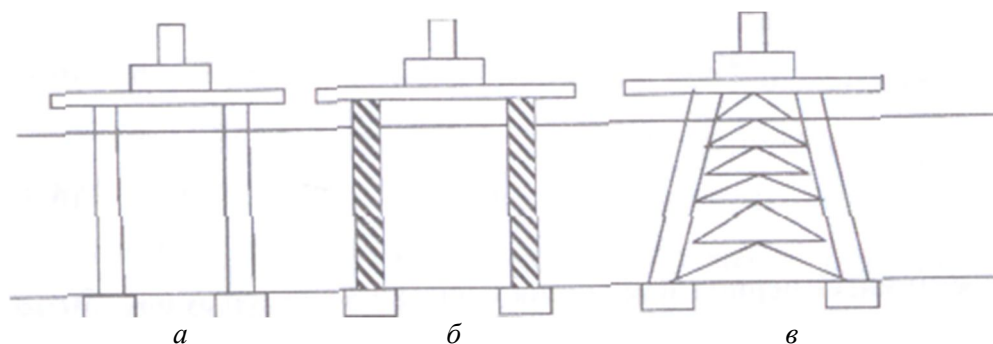


Рисунок 1 - Массивные подводные платформы: а - опора сплошного типа; б - опора стержневая; в - опора стержневая решетчатая

Прочность и устойчивость подобных сооружений в значительной степени определяются волновыми нагрузками, действующими при шторме на опоры (рис. 2).

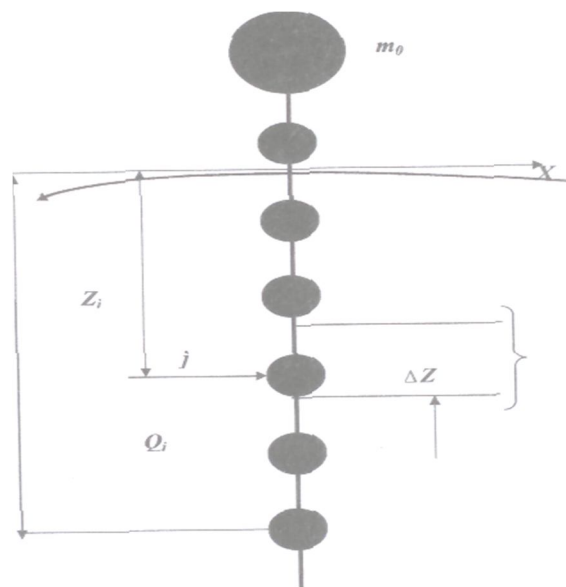


Рисунок 2 - Расчетная модель системы, испытывающей волновые воздействия

Подпорные стены являются одним из важнейших видов инженерных сооружений, широко применяющихся в гидротехническом, промышленном, гражданском, дорожном и железнодорожном строительстве, а также в горном деле. Примером могут служить набережные, стены шлюзов, устои мостов и так далее. Материалом для устройства подпорных стен может служить камень, кирпич, бетон, железобетон, дерево и другие материалы.

Подпорными стенами называются сооружения, предназначенные для ограждения грунта или сыпучих тел от обрушения (рис. 3).

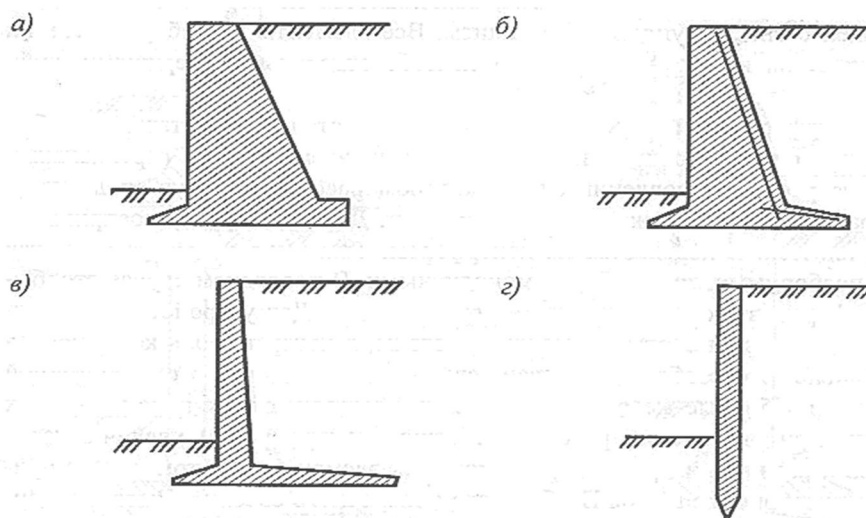


Рисунок 3 - Виды подпорных стен: а – массивная неармированная; б – полумассивная армированная; в – тонкоэлементная; г – тонкая

По принципу работы различают подпорные стены:

- массивные неармированные, устойчивость которых обеспечивается в основном их собственным весом, и материал стены (бетон, кирпичная кладка) испытывает преимущественно сжимающие напряжения;
- полумассивные армированные, устойчивость которых обеспечивается как собственным весом стенки, так и весом грунта, лежащего на фундаментальной плите. Такие стены обычно представляют собой конструкцию из армированного бетона, в которой растягивающие усилия воспринимаются стальной арматурой;
- тонкоэлементные, которые обычно состоят из связанных друг с другом железобетонных плит. Устойчивость стен этого типа обеспечивается в основном весом грунта над фундаментальной плитой и лишь в небольшой степени собственным весом;
- тонкие, устойчивость которых обеспечивается заземлением их оснований; для уменьшения глубины заложения стенок, а также для повышения их жесткости применяют анкеры [1].

Водоподпорные сооружения, перегораживающие речное русло или долину и обеспечивающие тем самым разность уровней (напор) в удобном для использования месте, называют плотинами.

В зависимости от используемого материала и конструктивного решения поперечное сечение плотины представляет собой трапецию, треугольник или изогнутую вертикальную стену. Трапецеидальный поперечный профиль получается при возведении плотины из грунтовых материалов, треугольный характерен для бетонных и гравитационных или контрфорсных плотин, изогнутая вертикальная стенка – для арочных. При этом верхняя часть плотины носит название гребень, нижняя поверхность – подошва, боковые поверхности – грани (верховая и низовая).

Критерий превышения отметки гребня плотины над расчетным статическим уровнем можно представить в виде:

$$K_{пр.гр.} = d_{факт} / d_{расч.} \geq 1, \quad (1)$$

где $d_{факт}$ – фактическое превышение отметки гребня плотины над расчетным уровнем во-

ды в водохранилище, м; $d_{расч} = h_n + \Delta z + a$ – расчетное превышение отметки гребня плотины над статическим уровнем воды; h_n – высота наката волны расчетной обеспеченности на откос, м; Δz – высота ветрового нагона волны, м; a – конструктивный запас, принимаемый не менее 0,5 м.

По критерию $K_{пр.зр.}$ устанавливается вероятность перелива воды через гребень плотины (высокая или низкая).

Для оценки потенциальной опасности гидротехнических сооружений предлагаются критерии K_{d1} и K_{d2} :

$$K_{d1} = \sum_{i=1}^n f_i / F > 0, \quad (2)$$

где K_{d1} – критерий степени затопления потенциально опасных объектов и территорий (населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных предприятий, сельхозугодий); f_i – расчетная площадь затопления объекта, м²; F – общая вероятная площадь затопления при аварии подпорного сооружения, м².

Для оценки потенциальной опасности гидротехнических сооружений по критерию K_{d1} предполагаются следующие рекомендации: при $K_{d1} = 0$ – опасности нет; при $0 < K_{d1} < 0,1$ – опасность малая; $0,1 < K_{d1} < 0,3$ – средняя; $0,3 < K_{d1} < 0,5$ – высокая; $0,5 < K_{d1} < 1$ – очень высокая.

$$K_{d2} = Y_{расч.} / Y_{норм.}, \quad (3)$$

где K_{d2} – критерий степени опасности гидротехнических сооружений по масштабу ущерба; $Y_{расч.}$ – расчетный вероятный ущерб от затопления населенных пунктов, сельскохозяйственных, промышленных и других объектов, попадающих в зону затопления; $Y_{норм.}$ – нормативный ущерб от затопления.

С учетом приведенных критериев разработана структурная схема оценки потенциальной опасности технического состояния и безопасности эксплуатации гидротехнических сооружений в случае высокой и низкой вероятности перелива воды через гребень плотины [3].

Основной принцип проектирования гидротехнических объектов заключается в том, чтобы их сооружения удовлетворяли требованиям технического прогресса, были надежными и долговечными, а также экономичными. С этой целью технико-экономическими расчетами обосновываются все параметры объекта и входящих в него гидротехнических сооружений. Целью расчетов является также определение экономической эффективности строительства комплекса гидротехнических сооружений в сравнении с другими альтернативными вариантами.

Обоснование параметров гидротехнических сооружений и определение эффективности строительства объекта производятся обычно по методу сравнительной экономической эффективности. Обычно сравниваются между собой два объекта или два варианта развития отрасли, обеспечивающие получение в одни и те же сроки одинакового эффекта по продукции, грузообороту и т.д.

Строительство гидротехнического объекта считается экономически эффективным (выгодным), если дополнительные капиталовложения $K_m - K_3$ окупаются экономией ежегодных эксплуатационных расходов (издержек) $I_3 - I_m$ в срок T не больше нормативного

значения Γ_n :

$$T = \frac{K_T - K_3}{I_3 - I_T} \leq \Gamma_n. \quad (4)$$

Средний по народному хозяйству страны нормативный срок окупаемости дополнительных капиталовложений T_n в энергетике установлен в 8,33 года. Если срок окупаемости данного гидротехнического объекта равен T лет (например, 5 лет), это означает, что дополнительные капиталовложения в его строительство будут окупаться каждые T лет в течение всего срока эксплуатации этого объекта.

Наряду с показателем срока окупаемости используется его обратная величина – показатель сравнительной эффективности дополнительных капиталовложений E :

$$E = \frac{I_3 - I_T}{K_T - K_3} \geq E_n. \quad (5)$$

Средние $T = \frac{K_T - K_3}{I_3 - I_T} \leq \Gamma_n$ и $E = \frac{I_3 - I_T}{K_T - K_3} \geq E_n$ справедливы в тех случаях, когда сооружения могут быть построены за один год. Однако крупные гидротехнические объекты обычно строятся в течение нескольких лет. Поэтому в период строительства расходуемые капиталовложения не дают эффекта. Это учитывается как потери в хозяйстве от временного омертвления капиталовложения до ввода объекта в эксплуатацию подстановкой соответствующей добавки в формулы: $T = \frac{K_T - K_3}{I_3 - I_T} \leq \Gamma_n$ и $E = \frac{I_3 - I_T}{K_T - K_3} \geq E_n$.

Показанная (полученная) методом сравнительной эффективности по формулам (4) и (5) экономическая целесообразность строительства гидротехнического объекта проверяется по показателям общей (абсолютной) экономической эффективности E_a полных капиталовложений в данный объект. Одним из таких показателей является коэффициент рентабельности капиталовложений (K_p):

$$K_p = \frac{\Pi}{K_T}, \quad (6)$$

где Π – годовая прибыль; K_T – реализация продукции.

Наряду с показателем общей экономической эффективности – коэффициентом рентабельности – часто используют его обратную величину – условный срок возврата полных капиталовложений за счет прибыли (T_B):

$$T_B = \frac{K_T}{\Pi}. \quad (7)$$

Чем меньше срок возврата или чем больше коэффициент рентабельности, тем выгоднее (эффективнее) намечаемый к строительству гидротехнический объект [2].

Список литературы

1. Волосухин В.А. Расчет и проектирование подпорных стен гидротехнических сооружений / В.А. Волосухин, В.П. Дыба, С.И. Евтушенко. – М., 2008. – С. 8.
2. Введение в гидротехнику / Под. ред. Ю.П. Правдивеца. – М., 2009. – С. 273.
3. Журнал «Мелиорация и водное хозяйство». – М., 2011. – С. 43.
4. Кутуев М.Д. Теория и практика сейсмозащиты сооружений / М.Д. Кутуев, В.Т. Укуев, Б.С. Матозимов, Э.М. Мамбетов. – Бишкек: Алтын принт, 2010. – С. 231.
5. Сатаркулов С.С. Гидротехнические сооружения оросительных систем горно-предгорной зоны / С.С. Сатаркулов, К.К. Бейшекеев. – Бишкек, 2004. – С. 324.
6. Кутуев М.Д. Моделирование климатических воздействий на гидротехнические сооружения / М.Д. Кутуев, Э.М. Мамбетов // Известия. Наука и новые технологии. – 2011. – Вып.

2. – С. 41.
7. Кутуев М.Д. Вероятностный метод расчета гидросооружений / М.Д. Кутуев, Э.М. Мамбетов // Вестник КНАУ. – 2011. – Вып.1. – С. 68.
8. Мамбетов Э.М. О надежности гидротехнических сооружений // Вестник КГУСТА им. Н. Исанова. – 2011. – Вып. 2. – Т. 2. – С. 151.
9. Кутуев М.Д. Моделирование сложных предельных состояний / М.Д. Кутуев, Э.М. Мамбетов // Вестник Известия вузов. – С. 21.

Получено 07.04.2014

УДК 681.2 (075.8): 681.5(075.8): 006.91(075.8)

А.П. Парамзин

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск

АКТИВНАЯ КОРРЕКЦИЯ АСТАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В статье предложен метод повышения коэффициента добротности замкнутой автоматической системы с астатизмом первого порядка с помощью активного корректора. На рис. 1 приведена структурная схема такой системы, которая предназначена для воспроизведения управляющего воздействия $x(t)$ с минимальными искажениями (системы подобного типа называют следящими). На том же рисунке приведено изображение собственной ошибки воспроизведения управляющего воздействия $E(p)$.

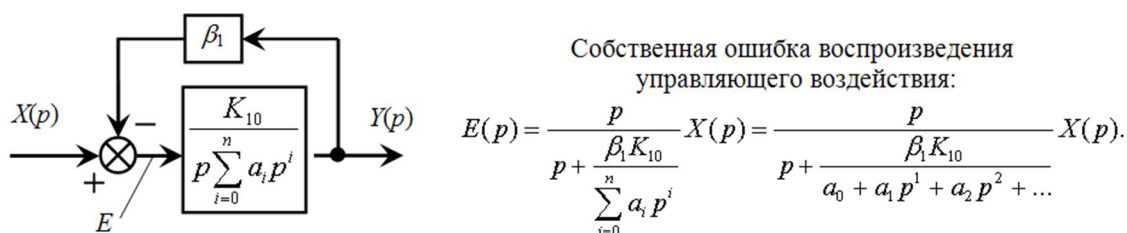


Рисунок 1 – Структурная схема системы с астатизмом первого порядка

В соответствии с теоремой о конечном значении оригинала получим

$$\varepsilon(\infty) = E(0) = \frac{0}{0 + \frac{\beta_1 K_{10}}{a_0}} x(t) = 0, \quad (1)$$

то есть статическая ошибка системы по управлению равна нулю независимо от характера управляющего воздействия [1].

Если управляющее воздействие изменяется с постоянной скоростью

$$x(t) = x^1 \cdot t \Rightarrow X(p) = \frac{x^1}{p}, \quad (2)$$

то собственная ошибка примет вид

$$\varepsilon(\infty) = E(0) = \frac{p}{p + \frac{\beta_1 K_{10}}{a_0}} \cdot \frac{x^1}{p} = \frac{x^1}{\frac{\beta_1 K_{10}}{a_0}} \quad \text{и при } a_0 = 1 \quad \varepsilon(\infty) = E(0) = \frac{x^1}{\beta_1 K_{10}}. \quad (3)$$

Выражение (3) называется скоростной установившейся ошибкой, которая пропорциональна скорости изменения управляющего воздействия и обратно пропорциональна статическому коэффициенту передачи или коэффициенту добротности разомкнутой системы. Отсюда следует, что с целью минимизации данной ошибки необходимо максимизировать коэффициент добротности.

В замкнутых системах, к которым принадлежит рассматриваемая, значение коэффициента добротности ограничено сверху условиями устойчивости (запасами устойчивости по модулю и фазе), а также требованиями к качеству переходных процессов. Поэтому любое его увеличение с помощью структурной и (или) параметрической модификации исходной системы должно проводиться с учётом уже достигнутых условий устойчивости и показателей качества. В статье такая задача решается с помощью применения активного корректора (рис. 2), который своим появлением обязан общей теории систем аддитивной коррекции мультипликативной погрешности по входу [2]. Во-первых, активный корректор встраивается в управляющее устройство (или регулятор) системы, поэтому его несложно настроить. Во-вторых, потенциальные свойства активного корректора реализуются с максимальной эффективностью, когда обходимый единичной передачей блок имеет второй порядок.

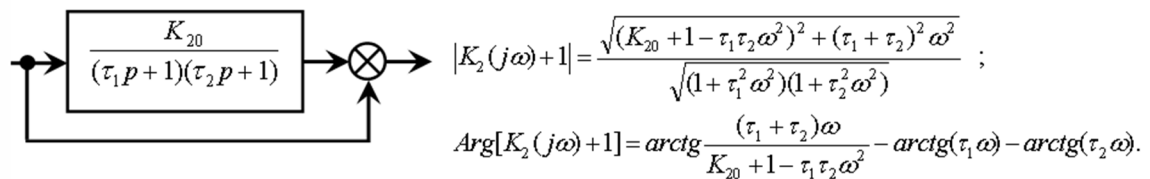


Рисунок 2 – Структурная схема, амплитудная и фазовая частотные характеристики активного корректора

Корректирующие свойства активного корректора проиллюстрируем с помощью рис. 3.

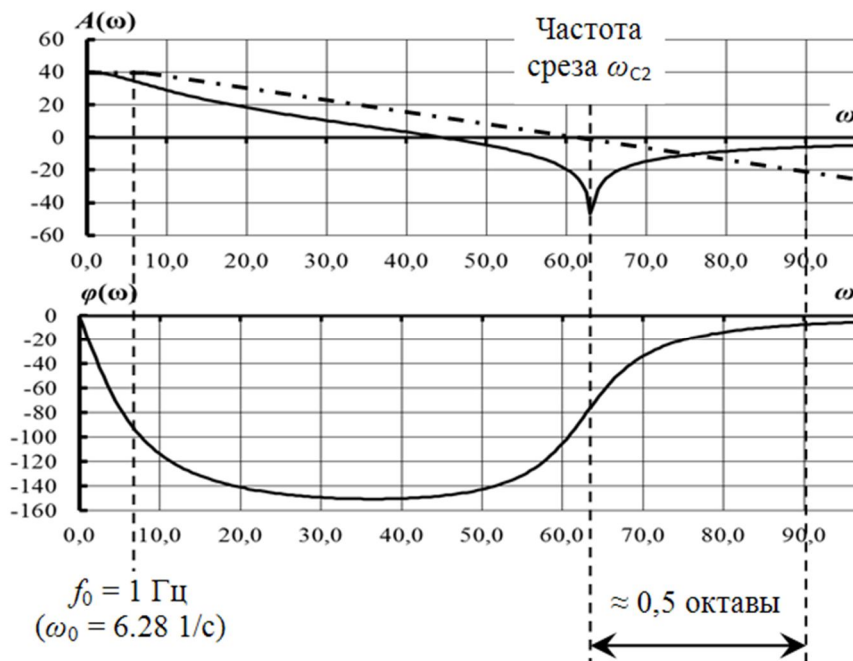


Рисунок 3 – Частотные характеристики активного корректора

Для иллюстрации случайным образом выбраны следующие параметры: верхняя граница диапазона рабочих частот $f_0 = 1$ Гц ($\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_0 = 6,28$ 1/с); статический коэффициент усиления $K_{20} = 100$, причём $20 \lg K_{20} = A(0)$; постоянные времени $\tau_1 = \tau_2 = 1/\omega_0 \approx 0,159$ с. Амплитудная и фазовая частотные характеристики корректора, построенные по выражениям из рис. 2, показаны сплошными линиями. Штрих-пунктирной линией показана амплитудная частотная характеристика обходимого единичной передачей блока. Её частота среза, которая может быть определена по выражению

$$|K_2(\omega)| = \frac{K_{20}}{1 + \tau^2 \omega^2} = \frac{100}{1 + 0,159^2 \omega^2} = 1 \Rightarrow \omega_{c2} = \frac{\sqrt{100-1}}{0,159} \approx 62,6 \text{ 1/с}, \quad (4)$$

играет определяющую роль в предлагаемой методике синтеза системы.

Очевидно, что основная задача корректора – внести дополнительную добротность в рабочем диапазоне частот (до частоты ω_0). В то же время на высоких частотах влияние корректора на свойства системы должно быть сведено к минимуму. Как следует из рис. 3, на частотах за пределами примерно в половину октавы от частоты среза амплитуда и фазовый сдвиг корректора становятся пренебрежимо малыми (реально имеет место асимптотический тренд амплитуды и фазы к нулевым значениям).

Проиллюстрируем предлагаемую методику синтеза на примере. Пусть на начальной стадии синтеза системы были получены частотные характеристики, сформированные с помощью пассивных R,L,C-цепей по традиционной методике коррекции с учётом необходимых запасов устойчивости и косвенных требований к показателям качества переходных процессов (рис. 4).

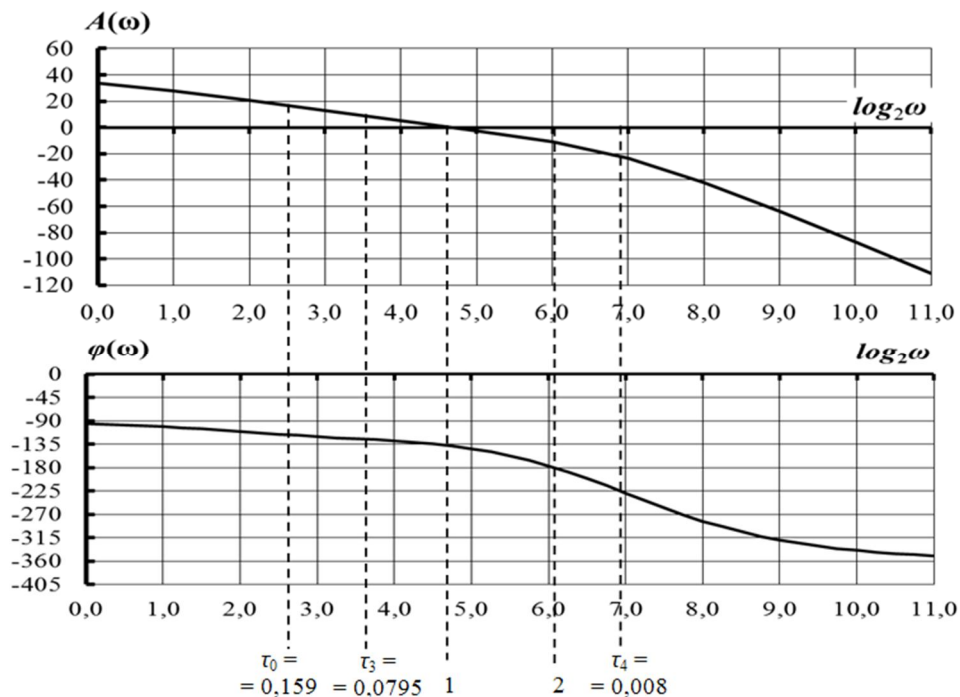


Рисунок 4 – Частотные характеристики исходной системы после первичной коррекции

На рис. 4 показана сглаженная амплитудная частотная характеристика, хотя в результате первичной коррекции системы она получается кусочно-линейной. По частотам сопряжения асимптот характеристики можно определить постоянные времени и в итоге сформировать передаточную функцию:

$$K_1(p) = \frac{\beta_1 K_{10} (n_3 \tau_0 p + 1)}{p(\tau_0 p + 1)(n_4 \tau_0 p + 1)^3} = \frac{100(0,0795p + 1)}{p(0,159p + 1)(0,008p + 1)^3}. \quad (5)$$

Цифрами 1 и 2 на рис. 4 отмечены следующие точки:

- точка 1 соответствует частоте среза $\omega_{c1} \approx 24$ 1/с ($\log_2 \omega_{c1} \approx 4,6$), на которой определяется запас устойчивости по фазе, равный примерно 42 градусам;
- в точке 2, где фазовый сдвиг равен -180 градусам, определяется запас устойчивости по модулю, который равен примерно 12 дБ.

Естественно, можно выполнить первичную коррекцию с учётом иных требований к запасам устойчивости по фазе и модулю.

На частоте $f_0 = 1$ Гц ($\omega_0 = 6,28$ 1/с, $\log_2 \omega_0 = 2,65$) – верхней границе диапазона рабочих частот, добротность системы равна примерно 15 дБ, откуда $|K_1(j\omega_0)| = 10^{15/20} = 5,6$.

Для увеличения добротности встроим в структуру системы активный корректор, как показано на рис. 5.

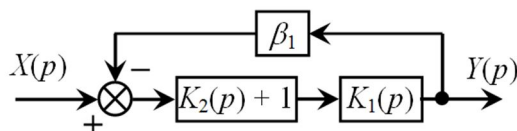


Рисунок 5 – Структура системы с активным корректором

С учётом описанных выше свойств активного корректора зададим его частотную характеристику с частотой среза $\omega_{C2} = 0,5\omega_{C1} = 0,5 \cdot 24 = 12$ 1/с. Тогда статический коэффициент усиления будет равен

$$|K_2(\omega)| = \frac{K_{20}}{1 + \tau^2 \omega^2} = \frac{K_{20}}{1 + 0,159^2 \cdot 12^2} = 1 \Rightarrow K_{20} = 1 + 0,159^2 \cdot 12^2 \approx 5, \quad (6)$$

и в результате выражения частотных характеристик примут вид (7):

$$|K_2(j\omega) + 1| = \frac{\sqrt{(K_{20} + 1 - \tau_1 \tau_2 \omega^2)^2 + (\tau_1 + \tau_2)^2 \omega^2}}{\sqrt{(1 + \tau_1^2 \omega^2)(1 + \tau_2^2 \omega^2)}} = \frac{\sqrt{(5 + 1 - 0,159^2 \omega^2)^2 + 4 \cdot 0,159^2 \omega^2}}{1 + 0,159^2 \omega^2};$$
$$\begin{aligned} \text{Arg}[K_2(j\omega) + 1] &= \arctg \frac{(\tau_1 + \tau_2)\omega}{K_{20} + 1 - \tau_1 \tau_2 \omega^2} - \arctg(\tau_1 \omega) - \arctg(\tau_2 \omega) = \\ &= \arctg \frac{2 \cdot 0,159 \omega}{5 + 1 - 0,159^2 \omega^2} - 2 \arctg(0,159 \omega). \end{aligned} \quad (7)$$

Частотные характеристики системы с активным корректором приведены на рис. 6.

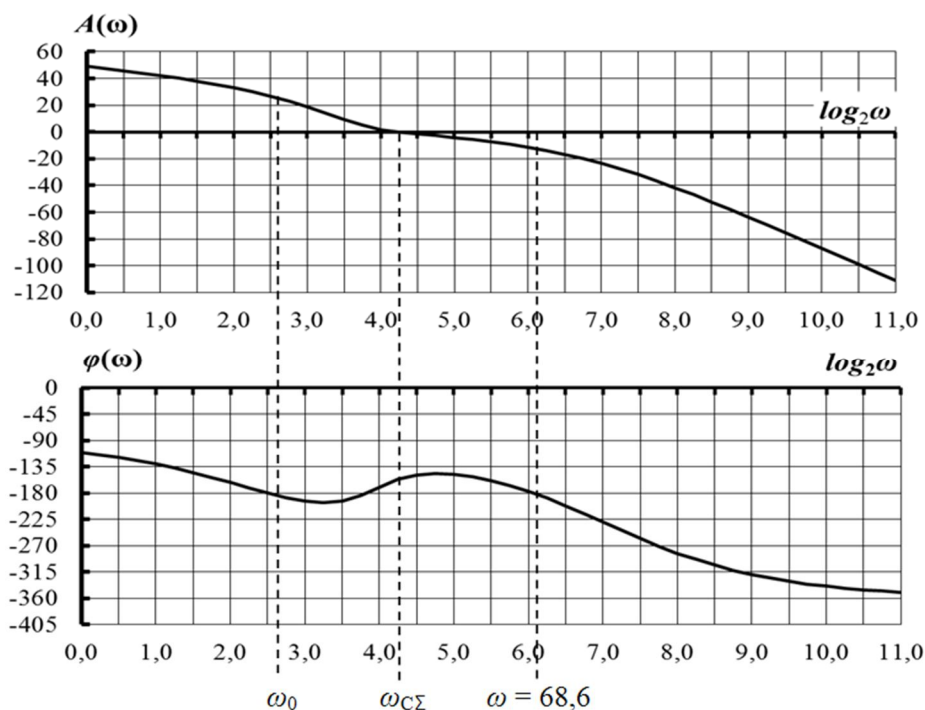


Рисунок 6 – Частотные характеристики системы с активным корректором

Добротность системы на частоте $f_0 = 1$ Гц увеличилась и стала равной $5,6 \cdot 5 = 28,1$ ($20 \lg 28,1 = 29$ дБ). Запас устойчивости по фазе (на частоте среза $\log_2 \omega_{C\Sigma} = 4,2$, $\omega_{C\Sigma} \approx 18,3$ 1/с), равный примерно 23 градусам, хотя и уменьшился, но в пределах допустимого. В точке третьего перехода ($\log_2 \omega = 6,1$) фазовой характеристикой уровня -180 градусов определяется запас устойчивости по модулю, который равен примерно 12 дБ – остался неизменным.

Платой за увеличение добротности служит проявление нового свойства системы, которое в теории автоматического управления получило название «условная устойчивость». Её признаком является превышение фазовым сдвигом значения -180 градусов на

средних частотах. Данный факт обнаруживается у рассматриваемой системы в частотном диапазоне $\omega_0 - \omega_{\text{св}}$. Система с таким свойством устойчива в малом, но неустойчива в большом, и особенно в целом. Следовательно, спроектированная по предлагаемой методике система будет функционировать нестабильно в режимах большого сигнала при возникновении энергетических перегрузок, поэтому требуется принять дополнительные меры для обеспечения работоспособности системы в любых условиях. Решение этой проблемы содержит разработанная автором общая теория систем аддитивной коррекции мультипликативной погрешности по входу. Предлагаемая в общей теории методика основана на нелинейной коррекции каналов системы и изложена в ряде работ автора, но не является предметом обсуждения в данной статье.

Список литературы

1. Воронов А.А. Основы теории автоматического управления. – М.;Л.: Энергия, 1965. – 396 с.
2. Парамзин А.П. Оптимизация частотных характеристик в замкнутых системах аддитивной коррекции погрешностей по входу /А.П. Парамзин, В.М. Сергеев // Проблемы технического прогресса и экологии в строительстве и других отраслях экономики Казахстана: Сб. науч. тр. – Усть-Каменогорск: ВКТУ, 1998.

Bibliography

1. Voronov A.A. Bases of the theory of automatic control. – M. – L.: Energy, 1965. – 396 p.
2. Paramzin A.P. Optimization of the frequency characteristics in closed systems of additive correction errors on input /A.P. Paramzin, V.M. Sergeyev // Problems of technical progress and ecology in construction and other industry sectors of Kazakhstan economy: Collection of scientific works. – Ust-Kamenogorsk: EKSTU, 1998.

Получено 28.04.2014

УДК 621.2.082.18

М.К. Скаков

Национальный ядерный центр Республики Казахстан, г. Курчатов

Л.Б. Баятанова

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ, ПОДВЕРГНУТОЙ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКЕ АЗОТИРОВАНИЕМ

Создание новых материалов и методов обработки конструкционных материалов, в том числе азотированием в электролитной плазме при повышенных напряжениях постоянного тока, должно сопровождаться исследованиями структуры, фазового состава, износостойкости поверхностных слоев, позволяющими выявить связь физических явлений с изменениями практически важных механических характеристик [1, 2].

Целью данной работы было исследование влияния режимов азотирования в электролитной плазме на структуру и поверхностную износостойкость образцов стали 18ХНЗМА-Ш. Экспериментальные исследования и механические испытания были проведены в лабораториях научно-исследовательского института «Нанотехнологии и новые материалы» Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева и в центре коллективного пользования НИ ТГУ, г. Томск, Россия.

Для электролитно-плазменной обработки использовали низкоуглеродистую сталь 18ХНЗМА-Ш (0,16÷0,18 % С; 3,3 % Ni; 0,9 % Cr; 0,51 % Mo; 0,44 % Mn; 0,34% Si; 0,05 %

Al; 0,008 % S; 0,012 % P; 0,015 % N; 0,01 % O; 0,01 % H) согласно ГОСТ 4543-71. Металлографический анализ структуры материала проводили на оптическом микроскопе Альтами MET 1M с цифровой камерой Altami USB 3150R6 1/2CMOS, для чего были подготовлены образцы, подвергнутые химическому травлению в реактиве, состоящем из 4 % HNO₃ и 96 % этилового спирта. Исследование фазового состава и структурных параметров образцов стали 18ХНЗМА-Ш проводили на дифрактометре XRD-6000 на CuK α -излучении. Для трибологических испытаний использовали высокотемпературный трибометр (ТНТ, CSM Instruments, Швейцария) и установку для абразивного изнашивания. Трибологические измерения проводили по схеме «pin-on-disk» («шарик-диск») в соответствии с международными стандартами ASTM G-99 и использованием контртела (шарика диаметром 6 мм) из Al₂O₃. Нагрузка на контртело составляла 5 Н. Линейная скорость – 2 см/с. Путь трения – 31,4 м. Абразивную износостойкость испытуемого материала оценивали путем сравнения его износа с износом эталонного образца (сталь 45) согласно ГОСТ 23.208-79. Обработку образцов стали 18ХНЗМА-Ш электролитно-плазменным методом в азотосодержащем электролите осуществляли в полупромышленной установке, описанной в [3].

На рис.1 представлена микроструктура поверхности стали 18ХНЗМА-Ш после электролитно-плазменного азотирования в водном растворе карбамида (30 %) + глицерина (15 %) при разных температурах с выдержкой 5 мин.

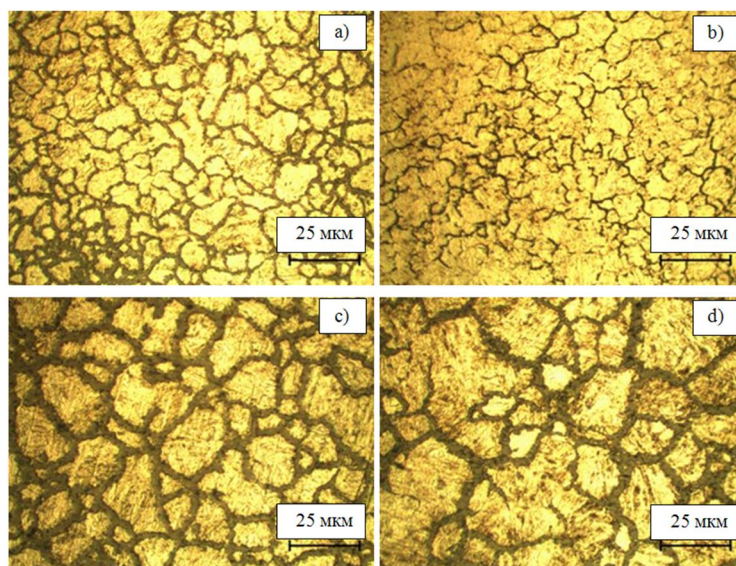


Рисунок 1 - Микроструктура поверхности стали 18ХНЗМА-Ш после электролитно-плазменного азотирования в водном растворе карбамида (30 %) + глицерина (15 %) при разных температурах с выдержкой 5 мин: а) 750 °С, б) 800 °С, в) 850 °С, д) 900 °С

Согласно [4,5], при нагреве стали в перлитных участках происходят те же самые превращения, что и при температуре $A_{c1} = 727$ °С. Затем, при увеличении температуры до A_{c3} , избыточный феррит постепенно превращается в аустенит путем зарождения и роста зерен новой фазы. Дальнейший нагрев сопровождается выравниванием концентрации углерода и азота за счет диффузии и роста зерна аустенита.

Как показали рентгеноструктурные исследования, результаты которых приведены в табл. 1, структура стали 18ХНЗМА-Ш до обработки состоит из α -фазы на основе железа.

После электролитно-плазменного азотирования в поверхностных слоях стали появились частицы новых фаз: γ -фазы на основе Fe, FeN и FeN_{0,095} (азотистый мартенсит).

Поверхностный слой стали 18ХНЗМА-Ш при нагреве до 750 °С состоит из избыточной α -фазы, нитридов, не растворившихся при нагреве, азотистого мартенсита и остаточного аустенита в количестве (см. табл. 1). Ранее в [6] нами было показано, что при повышении температуры до 800 °С увеличивается количество остаточного аустенита и толщина диффузионного слоя.

Таблица 1

Результаты анализа дифрактограмм до и после ЭПА

Вид и режимы обработки		Фазовый состав	Параметр решетки, нм	Содержание фазы, f, %	Размер ОКР, нм	$\Delta d/d \cdot 10^{-3}$
До обработки		α – Fe	0,2872	98	30	0,8
После ЭПА, 750 °С	3 мин	α – Fe	0,2885	66,1	24	3,7
		FeN	0,4328	8,8	19	2,9
		FeN _{0,095}	0,3595	25,2	11	5,9
	5 мин	α – Fe	0,2881	80,17	12	2,0
		γ – Fe	0,2837	1,73	17	1,5
		FeN	0,4308	9,13	15	3,4
		FeN _{0,095}	0,3585	8,97	15	0,3
	5,5 мин	α – Fe	0,2871	86,8	42	2,4
		FeN	0,4313	7,1	25	1,1
		FeN _{0,095}	0,3568	6,1	13	1,4
	7,5 мин	α – Fe	0,2875	69,48	56	4,2
		FeN	0,4334	6,18	30	1,2
		FeN _{0,095}	0,358	24,34	11	6,2

Как известно, абразивное изнашивание – это сложный процесс в силу влияния на него многочисленных факторов, основными из которых являются механические свойства поверхности и абразива, нормальная нагрузка на контакте, размеры и форма абразивных частиц, скорость относительного перемещения [6].

Процесс азотирования в электролитной плазме позволяет значительно повысить износостойкость исследуемых образцов. Из представленных на рис. 2 и 3 гистограмм можно видеть, что наименьшая скорость износа наблюдается после азотирования при температурах обработки 750 °С и 850 °С. Такое улучшение износостойкости объясняется формированием нитридного слоя, который, как известно, помимо значительного повышения твердости, способствует также увеличению износостойкости [7].

Испытания на абразивное изнашивание образцов материала бурового инструмента из стали 18ХНЗМА-Ш были проведены на исходном и обработанных образцах стали по 10 и 20 мин. В обоих испытаниях потеря массы исходного образца больше, чем обработанных азотированием. Причем потеря массы всех обработанных образцов увеличивается по глубине. Во втором испытании модифицированный слой азотированных образцов истирается.

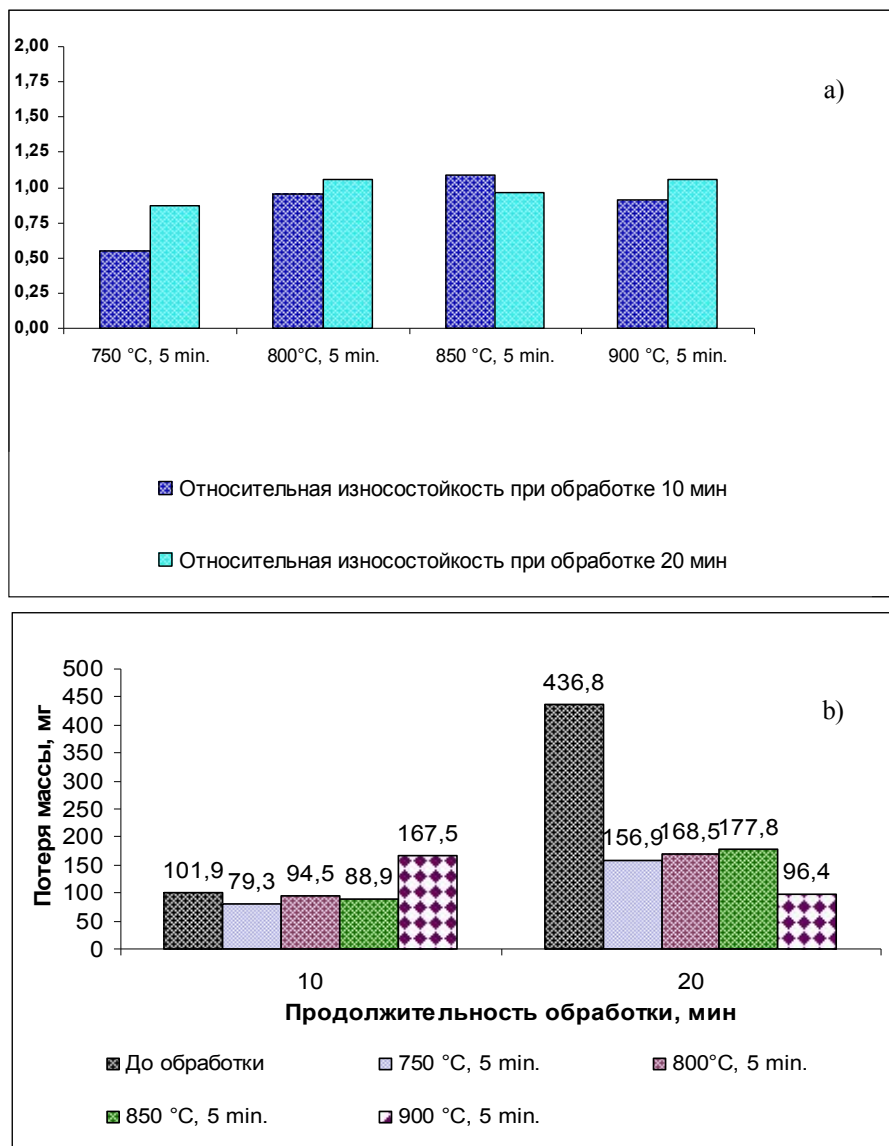


Рисунок 2- Изменения относительной износостойкости (a) и потери массы (b) стали 18ХНЗМА-Ш в зависимости от температуры ЭПА при испытаниях в течение 10 и 20 мин

Рост абразивной износостойкости сталей с повышением температуры обработки обусловлен насыщением α - и γ -твердых растворов азотом. Повышенная износостойкость остаточного аустенита в рассматриваемых образцах связана с его интенсивным упрочнением и частичным превращением в высокопрочный α' -мартенсит деформации при изнашивании, а также с положительным влиянием остаточного аустенита на вязкость разрушения. Согласно [7], наблюдаемое снижение износостойкости при максимальных температурах обработки обусловлено повышением устойчивости азотистого аустенита к деформационному $\gamma \rightarrow \alpha'$ -превращению при абразивном изнашивании.

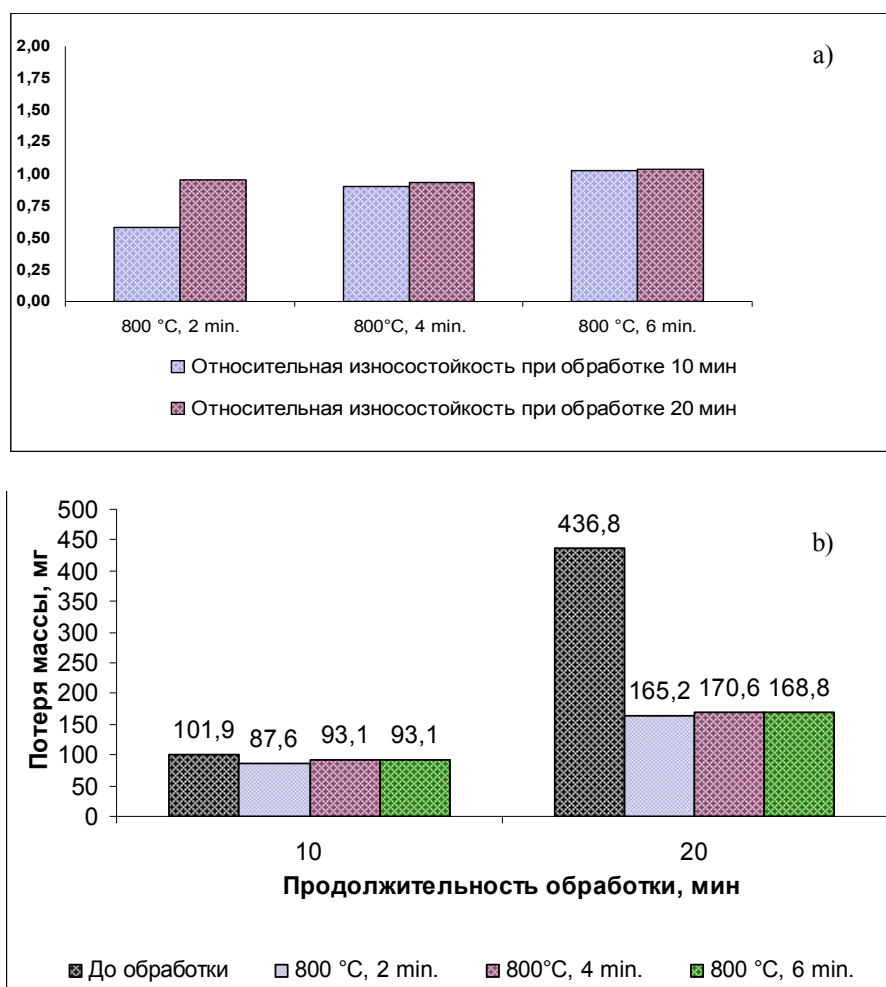


Рисунок 3 - Изменения относительной износостойкости (а) и потери массы (б) стали 18ХНЗМА-Ш в зависимости от времени выдержки ЭПА при испытаниях 10 и 20 мин

В табл. 2 приведены значения параметров трибоиспытаний на высокотемпературном трибометре ТНТ.

Таблица 2

Параметры трибоиспытаний

Сталь 18ХНЗМА-Ш	Режим азотирования	Средний коэффициент трения	Износ по ширине следа, мкм
Исходный	-	0,78	735
Обработанный	750 °C; 3,5 мин	0,18	175

На рис. 4 и 5 приведены графики изменения коэффициента трения в зависимости от времени испытания и пути трения исходного и обработанного образцов стали 18ХНЗМА-Ш, а также вид полосы износа с замерами ее ширины.

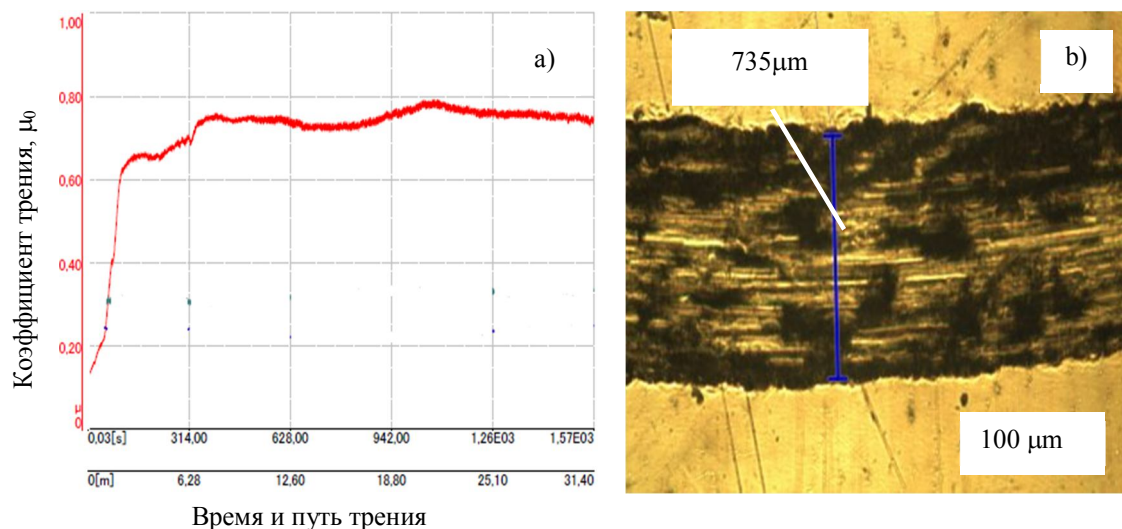


Рисунок 4 - График испытания на трение (a) и вид полосы износа (b) исходного образца стали 18ХНЗМА-Ш

На графике необработанного образца видно изменение характеристики параметра трения – кривая изменения коэффициента трения со временем имеет возрастающий характер (рис. 4,a) и максимальную ширину износа (рис. 4,b).

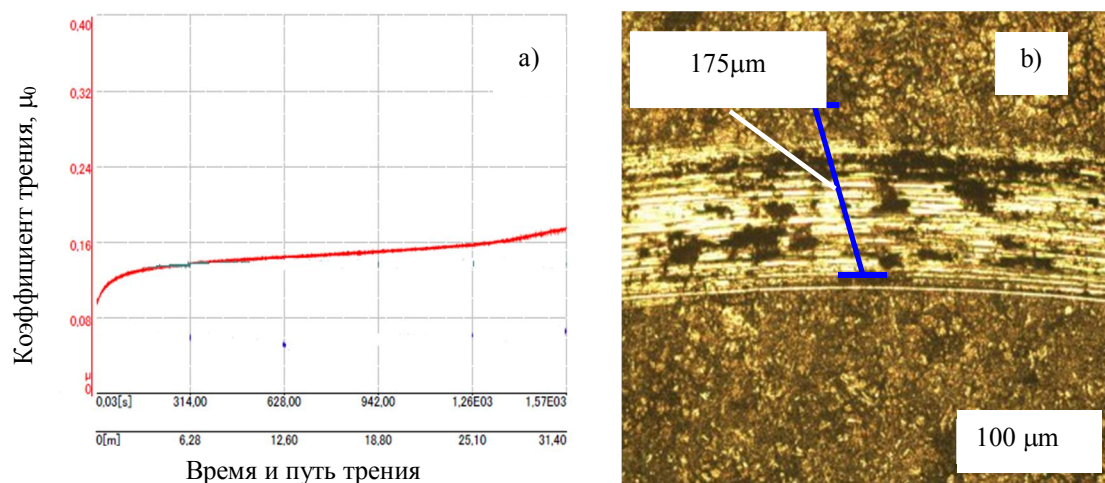


Рисунок 5 - График испытания на трение (a) и вид полосы износа (b) обработанного образца стали 18ХНЗМА-Ш

На графике обработанного образца (рис. 5,a) значение коэффициента трения и ширины износа (рис. 5,b) намного меньше.

На основе анализа полученных результатов исследований можно сделать следующие выводы:

- применение азотирования в электролитной плазме позволяет получать мелкозернистую структуру поверхности, которая существенно влияет на трибологические свойства;

- в структуре стали, обработанной азотированием в электролитной плазме, присутствуют азотосодержащий мартенсит (нитромартенсит), остаточный аустенит и сложные химические соединения (нитриды);

- в результате азотирования в электролитной плазме абразивная износостойкость поверхностных слоев стали 18ХНЗМА-Ш увеличивается в 1,5-2 раза по сравнению с исходным;

- минимальным коэффициентом трения обладает образец, азотированный в электролитной плазме, и он более чем в 4 раза меньше коэффициента трения образца до обработки.

Настоящая работа проведена в соответствии с договором № 475/189-209-11 с АО «Национальное агентство по технологическому развитию» по теме «Инновационная технология электролитно-плазменной обработки упрочнением материала подшипникового узла бурового инструмента».

Список литературы

1. Соснин Н.А. Плазменные технологии. Сварка, нанесение покрытий, упрочнение / Н.А. Соснин, С.А. Ермаков, П.А. Тополянский. – М.: Машиностроение, 2008. – 406 с.
2. Yerokhin A.L. Plasma electrolysis for surface engineering / A.L. Yerokhin, X. Nie, A. Leyland, A. Matthews, S.J. Dowey // Surface and Coatings Technology. – 1999. – № 122. – С. 73-93.
3. А.с. 26917. Способ поверхностного упрочнения подшипниковой дорожки бурового инструмента / М.К. Скаков, Л.Б. Баятанова, Ш.Р. Курбанбеков и др.; Опубл. 15.05.2013. – Бюл. № 5.
4. Арзамасов Б.Н. Материаловедение / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002. – 648 с.
5. Скаков М.К. Улучшение механических характеристик поверхностного слоя стали бурового долота методом электролитно-плазменного азотирования / М.К. Скаков, Л.Б. Баятанова // Материалы XV Междунар. науч.-практ. конф. «Технологии упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика». – СПб., 2013. – С. 375-380.
6. Скаков М.К. Формирование упрочненных поверхностных слоев стали 18ХНЗМА-Ш методом электролитно-плазменного азотирования / М.К. Скаков, Л.Б. Баятанова // Материалы X Междунар. конф. «Перспективные технологии, оборудование и аналитические системы для материаловедения и наноматериалов». – Алматы, 2013. – С. 333-339.
7. Браун Э.Д. Основы трибологии (трение, износ, смазка): Учеб. для технических вузов / Э.Д. Браун, Н.А. Буше, И.А. Буяновский и др. / под ред. А.В. Чичинадзе. – 2-е изд. – М.: Центр «Наука и техника», 2001. – 778 с.
8. Геллер А.Л. Остаточный аустенит и износостойкость легированных цементованных сталей / А.Л. Геллер, В.Н. Юрко // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1991. – № 6. – С. 66-69.
9. Виноградов В.Н. Механическое изнашивание сталей и сплавов: Учеб. для вузов / В.Н. Виноградов, Г.М. Сорокин. – М.: Недра, 1996. – 364 с.

Получено 12.05.2014