

УДК 51-7

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОСТОЕВ ТЕХНИКИ ДЛЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Золотарёв Н.С., студент гр.ИИМ-241

Научный руководитель: И.А. Ермакова, д.т.н, профессор
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева,
г. Кемерово

Прогнозирование отказов и простоя карьерного оборудования является важной частью планирования в горнодобывающей промышленности. Для того чтобы минимизировать затраты, повысить эффективность эксплуатации техники и избежать длительных простоев, необходимо использовать методы прогнозирования, которые позволяют точно предсказать возможные сбои и оптимизировать работу оборудования.

В данном исследовании применены два метода прогнозирования временных рядов: аддитивная модель и мультипликативная модель. Эти модели были выбраны на основе их распространенности и эффективности при анализе сезонных и трендовых изменений в данных о работе карьерной техники. На основе исторических данных о рабочем времени и простоях, собранных за последний год, был сделан прогноз на следующие полгода. Эти методы помогают более точно учитывать как сезонные, так и трендовые колебания, влияющие на работу техники, используемой для открытых горных работ.

Благодаря анализу таких данных и прогнозу, инженер-сметчик, работающий над составлением календарного плана работ на отдельном взятом участке разреза, может оптимизировать график работ, уменьшив количество простоев чтобы минимизировать затраты и повысить эффективность эксплуатации техники. В рамках статьи рассмотрим прогнозирование вручную и использование прогнозирования программным средством, используемым инженером сметчиком для автоматизированного прогноза.

Имея достаточно большой объём данных о ежедневных простоях техники в течении трех лет, сгруппируем данные по кварталам (Рисунок 1).

Год	Квартал	t	Часы простоя
2022	1	1	15,3
2022	2	2	17,7
2022	3	3	17,85
2022	4	4	15,4
2023	1	5	15,2
2023	2	6	17,85
2023	3	7	17,9
2023	4	8	15,55
2024	1	9	16,2
2024	2	10	15,1
2024	3	11	16,6
2024	4	12	18,4

Рисунок 1. Данные о простоях по кварталам

Сгладим ряд методом скользящих средних.

На основании имеющихся данных построим график временного ряда (Рисунок 2).

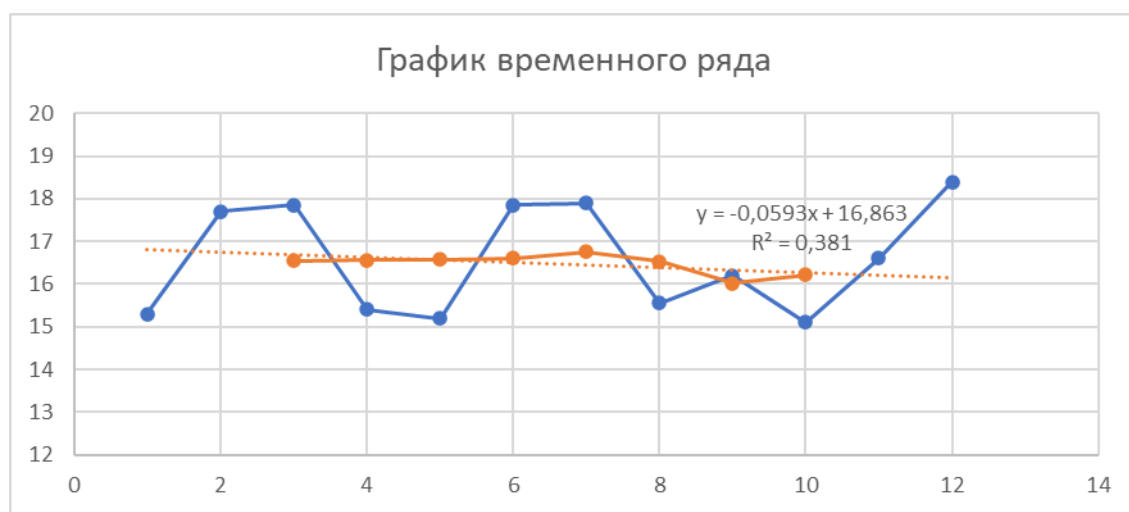


Рисунок 2. График временного ряда

По данным и графику временного ряда можно заметить цикличность, связанную с сезонными изменениями нагрузки на технику, условиями работы и природными факторами, такими как устойчивость почвы и т.д. Анализ показывает, что периоды повышенного простоя приходятся на второй и третий кварталы, что может быть связано с увеличенной интенсивностью работ, перегрузкой оборудования или неблагоприятными условиями (например, весеннее размягчение грунта).

Также можно заметить отклонения от общей закономерности, которые можно считать аномалиями. Они могут быть вызваны неожиданными поломками, простоем из-за организационных факторов (например, нехватки персонала) или изменениями в графике работы.

Построим аддитивную и мультипликативную модель для прогноза времени простоя техники на 2025 год, учитывая выявленные сезонные закономерности. Найдем сезонные компоненты следующим образом. Для этого дополним данные столбцами разности между наблюдаемыми и сглаженными значениями для аддитивной модели, и отношением наблюдаемых и сглаженных значений для мультипликативной.

1. АДДИТИВНАЯ МОДЕЛЬ

Найдем сезонные компоненты $S=U_t-U_{tсгл}$, их средние значения по кварталам, и сумму средних значений: $\Sigma S = -0,384$.

В моделях с сезонной компонентой предполагается, что сезонные взаимодействия взаимопогашаются. То есть, в аддитивной модели сумма значений сезонных компонент должна быть равна нулю. Так как получено отклонение от нуля, то была произведена корректировка сезонных компонент.

Используя полученное уравнение тренда (см. рис. 2) и найденные сезонные компоненты, был сделан прогноз изучаемой величины на следующие 4 квартала:

- 1 квартал: $U_{13} = 15,585$;
- 2 квартал: $U_{14} = 16,1913$;
- 3 квартал: $U_{15} = 17,2945$;
- 4 квартал: $U_{16} = 16,887$.

2. МУЛЬТИПЛИКАТИВНАЯ МОДЕЛЬ

Найдем сезонные компоненты $S=U_t/U_{tсгл}$, их средние значения по кварталам, и сумму средних значений: $\Sigma S = 3,976$.

Так как сумма средних значений в данном случае должна быть равна числу рассматриваемых периодов ($=4$), то была произведена корректировка каждой сезонной компоненты.

Используя полученное уравнение тренда (см. рис. 2) и найденные сезонные компоненты, был сделан прогноз изучаемой величины на следующие 4 квартала:

- 1 квартал: $U_{13} = 15,12$;
- 2 квартал: $U_{14} = 17,04$;
- 3 квартал: $U_{15} = 17,05$;
- 4 квартал: $U_{16} = 16,86$.

Для проверки достоверности полученных значений рассмотрим прогноз времени простоя техники на 2025 год с помощью программного средства собственной разработки для инженеров сметчиков, который учитывает так же уникальные факторы участка работы и спецификации техники и оборудования.

На рисунке 3 представлен автоматически построенный программой график временного ряда, включающий как исходные, так и сглаженные значения.

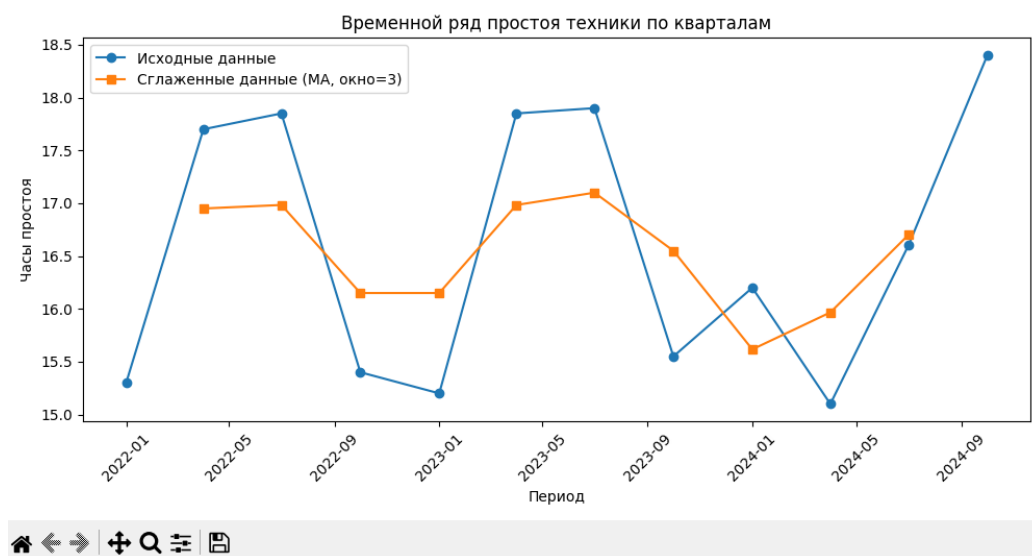


Рисунок 3. График временного ряда ПО

Программное обеспечение на основе исторических данных строит прогноз времени простоя техники на 2025 год на основе аддитивной и мультипликативной модели с визуализацией на Рисунке 4.



Рисунок 4. Прогноз простоя техники ПО

Результат прогноза для 2025 года с помощью специализированной программы представлен в таблице:

Таблица – Результат программного прогноза

	Аддитивная модель	Мультипликативная модель
1 квартал 2025	15,58	15,53
2 квартал 2025	16,89	16,85
3 квартал 2025	17,46	17,41
4 квартал 2025	16,46	16,41

Полученные значения программных прогнозов близки к результатам нашего прогнозирования по методике. Разница между ними объясняется тем, что программные алгоритмы учитывают специфические факторы, такие как условия эксплуатации на конкретном участке, загруженность отдельных единиц техники и их техническое состояние.

Прогнозирование простоев на несколько периодов вперед позволяет заранее планировать техническое обслуживание и ремонты, снижая вероятность внеплановых остановок техники. Это помогает рационально распределять ресурсы – например, заранее закладывать в график периоды с повышенной вероятностью отказов, своевременно закупать запчасти и оптимизировать нагрузку на ремонтные бригады.

Анализ временного ряда показал, что цикл простоев техники не является случайным – в определенные периоды количество часов простоя увеличивается. Это может быть связано с сезонным ростом нагрузки на оборудование или ухудшением рабочих условий. В такие периоды можно предусмотреть увеличение штата ремонтных специалистов, заранее планировать профилактические осмотры и более точно распределять технику между участками, чтобы минимизировать влияние возможных отказов.

Использование этих прогнозов позволяет сократить финансовые потери, вызванные неожиданными простоями. В дальнейшем можно расширить модель, учитывая дополнительные факторы – например, влияние погодных условий, характеристики грунта, технические особенности машин, что сделает прогнозирование еще точнее и полезнее для планирования работы на карьере.

Список литературы:

1. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие для вузов/ В.Е. Гмурман. – 9-е изд., стер. – М.: Высш.шк., 2003. – 479с.: ил.
2. Теория вероятностей и математическая статистика. В 2 ч. Часть 1. Теория вероятностей: учебник и практикум для академического бакалавриата / Н. Ш. Кремер. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2016. — 264 с. — Серия: Бакалавр. Академический курс.
3. Математика: Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие / Е. А. Николаева, Е. Н. Грибанов; КузГТУ. – Кемерово, 2017. – 116 с.

4. Специальные главы математики: Курс лекции/ И. А. Ермакова, В. А. Гоголин; КузГТУ. – Кемерово, 2022