

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ

УДК 629.44.003:519.2(075.8)

В. И. СЕНЬКО, доктор технических наук, Е. П. ГУРСКИЙ, кандидат технических наук, Д. Н. ШЕВ-ЧЕНКО, кандидат технических наук, Л. В. СЕНЬКО, научный сотрудник, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

**ПЛАНИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ВАГОННОГО ХОЗЯЙСТВА
ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

Важное место в создании необходимых условий для своевременного и качественного ремонта вагонов занимает обоснованный расчет и планирование основных параметров вагоноремонтных предприятий. Существующие подходы и разработанные на их основе методики обладают весьма существенным недостатком: все исходные показатели принимаются как детерминированные. При таком подходе результаты расчетов основных параметров депо находятся в противоречии с важнейшим показателем, которым является трудоемкость ремонта вагонов, имеющая вероятностный характер. Это приводит к тому, что во многих случаях при разработке вариантов реконструкции депо, сопровождаемых расчетом основных технико-экономических показателей, решения принимаются интуитивно. При этом ошибки в прогнозе параметров транспортной системы оказывают существенное влияние на конечные результаты работы железнодорожной отрасли. В этом случае принимаемые в дальнейшем оперативные воздействия не приносят желаемого результата, а выделяемые на развитие транспорта капитальные вложения используются неэффективно. Сократить неопределенность в прогнозах и повысить точность планируемых параметров позволяет применение современных экономико-математических и математико-статистических методов анализа. В работе показана актуальность и практическая значимость данной проблемы. Приведены результаты статистического анализа трудоемкости деповского ремонта вагонов с применением пакета Statgraphics Centurion XV.

В настоящее время железнодорожный транспорт нашей страны, обеспечивая перевозки грузов и пассажиров, работает в сложных экономических условиях. Поэтому очень остро стоит вопрос о поиске оптимальных решений в различных сферах его деятельности. Без широкого и корректного применения современных экономико-математических методов решить стоящие перед транспортом задачи невозможно.

Необходимым условием повышения научного уровня плановой и аналитической работы является использование экономико-математических и математико-статистических методов, позволяющих, наряду с качественным анализом, проводить количественную оценку технико-экономических процессов, происходящих на железнодорожном транспорте, о работе которого ежедневно собирается и обрабатывается огромный объем информации, необходимый для решения оперативных и технико-экономических задач.

Исследование показателей работы железнодорожного транспорта – чрезвычайно трудная задача, поскольку она представляет собой систему, в которой одновременно протекают детерминированные и случайные процессы, связанные между собой очень сложным образом. Поэтому применение усредненных показателей не всегда позволяет правильно отразить структурные изменения, происходящие в транспортной системе. Как показала практика, использование средней нормативной трудоемкости технического обслуживания и ремонта при расчете численности работников пунктов технического обслуживания (ПТО), вагонных

депо (ВЧД), вагоноремонтных заводов (ВРЗ) зачастую приводит к необеспеченности этих подразделений на 20–30 % требуемым контингентом, что в конечном итоге оказывает существенное влияние на качество выполняемых технических операций, безопасность движения и в целом на конечные результаты эффективности работы железнодорожной отрасли. При этом принимаемые в дальнейшем оперативные воздействия на работу системы не приносят желаемого результата, а выделяемые на развитие транспорта капитальные вложения используются неэффективно.

Теоретическим основам и совершенствованию теории комплексного планирования параметров транспортных систем посвящен ряд научных работ В. И. Гридюшко, П. С. Грунтова, М. Л. Дыканюка, В. Я. Негрея, Н. В. Правдина, Н. И. Федотова, В. П. Ярошевича и других известных отечественных и зарубежных ученых в области железнодорожного транспорта. И вместе с тем многие вопросы, связанные с планированием развития вагоноремонтной базы, остаются до сих пор нерешенными. Сократить неопределенность планируемых параметров исследуемых величин позволяют эффективные методы теории вероятности и математической статистики.

Для исследования закона распределения случайной величины «трудоемкость деповского ремонта крытых вагонов» и нахождения её расчетного значения для заданного уровня доверительной вероятности проведены работы по натурному обследованию вагонов. Установлена трудоемкость восстановления их работоспособности при депов-

ском ремонте ($H_1, H_2, \dots, H_n, n > 100$). Массив статистических данных трудоемкости деповского ремонта крытых вагонов по различным неисправностям за один год в одном из депо Белорусской железной дороги приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Статистика трудоемкости деповского ремонта крытых вагонов

В человеко-часах

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 86 | 131 | 80 | 89 | 83 | 149 | 139 | 129 | 117 |
| 216 | 232 | 112 | 263 | 87 | 127 | 147 | 156 | 129 |
| 104 | 255 | 123 | 166 | 190 | 134 | 176 | 198 | 183 |
| 151 | 153 | 126 | 236 | 127 | 178 | 187 | 117 | 235 |
| 199 | 159 | 60 | 171 | 134 | 151 | 139 | 129 | 205 |
| 182 | 160 | 94 | 232 | 154 | 120 | 154 | 183 | 88 |
| 121 | 174 | 136 | 130 | 102 | 90 | 206 | 235 | 46 |
| 177 | 202 | 204 | 136 | 254 | 108 | 215 | 205 | 114 |
| 136 | 252 | 91 | 110 | 109 | 154 | 204 | 88 | 140 |
| 199 | 175 | 28 | 258 | 118 | 114 | 154 | 46 | 257 |
| 43 | 140 | 65 | 148 | 207 | 97 | 139 | 114 | 113 |
| 93 | 171 | 141 | 132 | 176 | 177 | 157 | 140 | 194 |
| 180 | 172 | 80 | 202 | 138 | 125 | 168 | 257 | 145 |
| 167 | 89 | 23 | 89 | 177 | 124 | 144 | 113 | 97 |
| 245 | 156 | 277 | 139 | 146 | 106 | 218 | 194 | 122 |
| 169 | 161 | 128 | 161 | 137 | 115 | 225 | 145 | 103 |
| 218 | 244 | 98 | 195 | 137 | 216 | 139 | 97 | 203 |
| 96 | 203 | 123 | 64 | 112 | 139 | 65 | 163 | 140 |
| 190 | 113 | 202 | 160 | 154 | 62 | 39 | 206 | 160 |
| 99 | 112 | 137 | 70 | 154 | 52 | 103 | 144 | 105 |
| 168 | 112 | 167 | 48 | 67 | 145 | 111 | 79 | 176 |
| 74 | 111 | 171 | 84 | 115 | 104 | 159 | 166 | 195 |
| 154 | 93 | 86 | 61 | 92 | 225 | 71 | 122 | 126 |
| 62 | 75 | 295 | 88 | 65 | 203 | 155 | 162 | 80 |
| 133 | 101 | 69 | 145 | 112 | 90 | 100 | 162 | 182 |
| 127 | 121 | 160 | 94 | 105 | 159 | 72 | 178 | 171 |
| 112 | 151 | 134 | 137 | 295 | 203 | 162 | 118 | 140 |
| 87 | 68 | 202 | 118 | 156 | 124 | 280 | 116 | |
| 78 | 147 | 155 | 83 | 112 | 112 | 94 | 124 | |
| 123 | 147 | 134 | 171 | 244 | 122 | 105 | 87 | |
| 92 | 143 | 99 | 150 | 172 | 252 | 111 | 99 | |
| 72 | 97 | 198 | 161 | 245 | 129 | 261 | 77 | |

Была поставлена задача определить расчетное значение трудоемкости ремонта крытых вагонов в депо, с учетом доверительной вероятности рассчитать контингент работников и выработать рекомендации по совершенствованию системы функционирования вагоноремонтной базы.

Для статистического анализа был использован пакет Statgraphics Centurion XV. В ходе исследований получены оценки числовых характеристик (таблица 2) и построена гистограмма трудоемкости ремонта (рисунок 1).

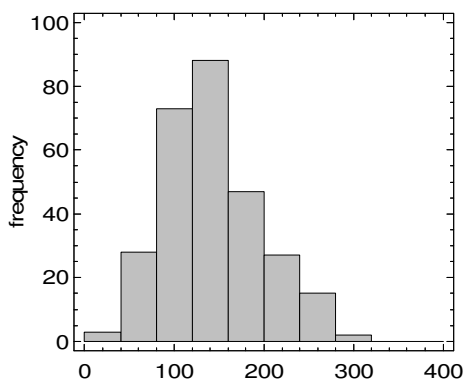


Рисунок 1 – Гистограмма трудоемкости ремонта в пакете Statgraphics Centurion XV

Таблица 2 – Числовые характеристики трудоемкости деповского ремонта крытых вагонов в пакете Statgraphics Centurion XV

| Числовая характеристика | Оценка |
|-------------------------|------------|
| Count | 283 |
| Average | 142,254 |
| Median | 138 |
| Mode | 112 |
| Geometric mean | 131,889 |
| Variance | 2798,91 |
| Standard deviation | 52,9047 |
| Coeff. of variation | 37,1902 % |
| Standard error | 3,14486 |
| Minimum | 23,0 |
| Maximum | 295,0 |
| Range | 272,0 |
| Lower quartile | 104,0 |
| Upper quartile | 172,0 |
| Interquartile range | 68,0 |
| 1/6 sextile | 91,0 |
| 5/6 sextile | 198,0 |
| Intersextile range | 107,0 |
| Skewness | 0,478678 |
| Std. Skewness | 3,28747 |
| Kurtosis | -0,0134268 |
| Std. kurtosis | -0,0461064 |
| Sum | 40258,0 |
| Sum of squares | 6,51617E6 |

В частности, из результатов анализа видно, что оценка

– математического ожидания случайной величины ξ (средняя трудоемкость ремонта) составляет 142,254 чел·ч;

– стандартного отклонения – 52,9047 чел·ч;

– медианы – 138,0 чел·ч (т. е. в среднем трудоемкость ремонта 50 % изделий не превышает 138,0 чел·ч);

– нижней квантили – 104,0 чел·ч (т. е. в среднем трудоемкость ремонта 25 % изделий не превышает 104,0 чел·ч);

– верхней квантили – 172,0 чел·ч (т. е. в среднем трудоемкость ремонта 75 % изделий не превышает 172,0 чел·ч).

При подборе закона распределения проводим исследование всех реализованных в Statgraphics Centurion XV распределений непрерывных случайных величин с множеством возможных значений на полуинтервале $[0, \infty)$. Результаты подбора распределения представлены в таблице 3. Из них видно, что в соответствии с критерием согласия χ^2 -Пирсона наилучшим образом с экспериментальными данными согласуется инверсное гауссовское распределение (распределение Вальда).

Таблица 3 – Подбор закона распределения трудоемкости в Statgraphics Centurion XV

| Распределение | Количество параметров | Статистика Chi-Squared P |
|-----------------------|-----------------------|--------------------------|
| Inverse Gaussian | 2 | 0,202398 |
| Birnbaum-Saunders | 2 | 0,159514 |
| Largest Extreme Value | 2 | 0,0646994 |

Окончание таблицы 3

| Распределение | Количество параметров | Статистика Chi-Squared P |
|------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Gamma | 2 | 0,0400468 |
| Maxwell | 2 | 0,020256 |
| Weibull | 2 | 0,012055 |
| Loglogistic | 2 | 0,00886714 |
| Lognormal | 2 | 0,00248621 |
| Normal | 2 | 0,00237759 |
| Triangular | 3 | 0,000511374 |
| Rayleigh | 2 | 0,00000347684 |
| Smallest Extreme Value | 2 | 4,30027E-11 |
| Exponential | 1 | 0,0 |
| Chi-Squared | 1 | 0,0 |
| Uniform | 2 | 0,0 |
| Pareto (2-Parameter) | 2 | 0,0 |

Учитывая, что расчетное значение P-Value для критерия согласия χ^2 -Пирсона превысило задаваемый в инженерной практике уровень значимости $\alpha = 0,05$, гипотезой об инверсном гауссовском распределении (рисунок 2) можно пользоваться в дальнейших исследованиях.

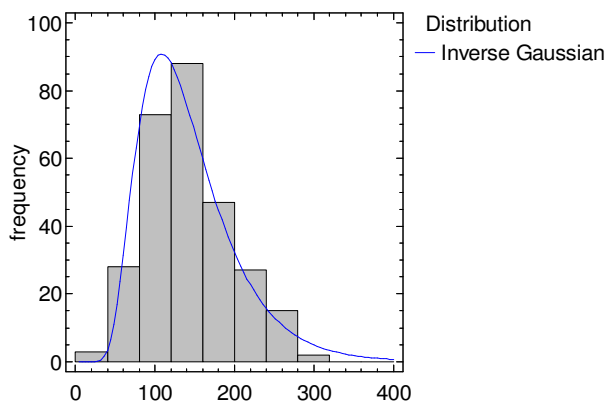


Рисунок 2 – Гистограмма трудоемкости ремонта с наложенной функцией плотности инверсного гауссовского распределения в пакете Statgraphics Centurion XV

Оценки параметров инверсного гауссовского распределения в пакете Statgraphics составили: параметр масштаба $\mu = \text{mean} = 142,254$; параметр формы $\lambda = \text{scale} \cdot \mu = 5,42774 \cdot 142,254 = 772,118$. Подобранный функция плотности распределения трудоемкости ремонта крытых вагонов имеет вид

Получено 01.04.2011

V. I. Senko, E. P. Gurskiy, D. N. Shevchenko, L. V. Senko. Planning of operating parameters of the wagon service by probability-statistical methods.

The important place in making the necessary conditions for well-timed and qualitative repair coach occupies the motivated calculation and planning main parameter enterprise on repair coach. The existing approaches and designed on their base of the methods possess the more essential defect: all source factors are taken as deterministic. Under such approach results calculation main parameter railroad yard are found in contradiction with the most important factor, which is labor content of the repair coach, having probabilistic nature. This brings about that that in many events at development variant to reconstructions railroad yard, accompanied by calculation of the main technical-economic factors, decisions are taken intuitive. At mistakes in forecast transport system parameter render the essential influence upon final results of the work to railway branch. In this case received a visit at the most further operative influences do not bring the desired result, but selected on development of the transport capital embedding are used inefficient. Shorten the uncertainty in forecast and raise accuracy planned parameter allows using modern economic and mathematical and mathematician-statistical methods of the analysis. In work is shown urgency and practical value given problems. The brought results of the statistical analysis of the random quantity "labor content of the repair of the coach in railroad yard" with using package Statgraphics Centurion XV.

$$f(x) = \begin{cases} \sqrt{\frac{772,118}{2\pi x^3}} \exp\left(-\frac{772,118(x-142,254)^2}{2 \cdot 142,254^2 x}\right), & x \geq 0; \\ 0, & x < 0. \end{cases}$$

Вероятность того, что трудоемкость произвольного ремонта крытого вагона не превысит t , чел·ч, определяется по формуле

$$P(\xi \leq t) = \int_0^t f(x) dx$$

и для некоторых значений t представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Вероятность своевременного выполнения ремонта крытых вагонов

| Время, чел·ч | Вероятность |
|--------------|-------------|
| 100 | 0,262172 |
| 125 | 0,459861 |
| 150 | 0,630634 |
| 175 | 0,758341 |
| 200 | 0,846404 |
| 225 | 0,904241 |
| 250 | 0,941076 |

Проведенные исследования и полученные результаты расчетов показали, например, что с вероятностью 0,941 трудоемкость ремонта не превысит 250 чел·ч. Следовательно, чтобы ремонт вагона был произведен в течение 12-часовой рабочей смены (с вероятностью 0,941), требуется 21 человек.

На практике выбор вероятности своевременного восстановления вагона и, следовательно, контингент рабочих, определяется дополнительными технико-экономическими расчетами.

Список литературы

- 1 **Сенько, В. И.** Экономико-математические методы и модели в планировании вагонного хозяйства / В. И. Сенько. – Гомель : БелГУТ, 2001. – 141 с.
- 2 **Шевченко, Д. Н.** Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие для студ. электротехн. спец. – Гомель : БелГУТ, 2006. – 318 с.