

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ

УДК 629.423.33:621.336.2

А. В. АНТОНОВ, аспирант, Днепрпетровский национальный университет железнодорожного транспорта, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ «КОНТАКТНЫЙ ПРОВОД – ТОКОПРИЕМНИК» ПРИ ВНЕДРЕНИИ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ

В статье определены основные проблемы, которые возникают в ходе эксплуатации контактных подвесок и токосъемных элементов электроподвижного состава при скоростном движении и разработана рекомендация по улучшению их работы. Проведен анализ выходов из строя проводов и тросов контактных сетей, исследованы проблемы, которые возникают при эксплуатации разных типов токоприемников и токосъемных элементов скоростных электропоездов, их влияние на надежность работы процесса токосъема. В ходе исследования установлено, что состояние контактной сети электрифицированных железных дорог Украины не соответствует требованиям, которые предъявляются для обеспечения надежной работы скоростных электропоездов. Установлено, что происходит обвальное старение контактной сети.

Введение. Повышение скоростей движения пассажирских и грузовых поездов на электрифицированных железных дорогах Украины приводит к возникновению значительных токовых нагрузок в контактной сети, что вызывает увеличение нагрева контактных проводов и тросов. Учитывая то, что значительная часть контактных сетей эксплуатируется более 40 лет, внедрение скоростного транспорта ведет к появлению целого ряда проблем, которые связаны с необходимостью обеспечения качественного и надежного токосъема. В то же время повышение скоростей движения электроподвижного состава ведет к ужесточению требований по надежности скользящего контакта, а решение проблемы повышения ресурса контактной пары «токосъемный элемент – контактный провод» становится еще более актуальным.

Методика. К устройствам, которые обеспечивают передачу электрической энергии от тяговых подстанций к электроподвижному составу относятся контактная сеть и токоприемник. Процесс передачи электрической энергии осуществляется непосредственно через контактную подвеску путем создания сильноточного скользящего контакта между контактным проводом и токосъемными элементами токоприемника, что сопровождается износом обеих контактирующих поверхностей. Контактный провод является одним из главных элементов контактной сети, от его работоспособности зависит надежность электрифицированных железных дорог, но при рассмотрении процесса токосъема необходимо также учитывать влияние материала токосъемных элементов.

Надежность токосъема состоит в обеспечении бесперебойности этого процесса при движении поездов с установленными скоростями, весовыми нормами, размерами движения при расчетных климатических условиях, для конкретного электрифицированного участка, при оптимальном сроке службы контактных

проводов и рациональном расходе токосъемных элементов [1].

Согласно [2, 3, 4] общие требования к контактным подвескам следующие:

- достижение равноэластичности подвески по всей длине пролета;
- повышенное натяжение контактных проводов, несущих и рессорных тросов;
- повышенные термостойкость и износостойкость, механическая прочность контактных проводов и тросов;
- минимизация по массе всех конструктивных элементов, непосредственно связанных с подвеской, при повышенных требованиях к их прочности и долговечности; надежная защита этих элементов от всех видов коррозии на полный срок эксплуатации;
- строгое выдерживание всех проектных геометрических параметров подвески (высота, зигзаг и др.) при монтаже, наладке и в процессе всего периода эксплуатации.

Помимо воздействия на контактный провод растягивающих сил, механических нагрузок и нагревания от протекания по нему тяговых токов во время взаимодействия с токоприемником он поддается механическому и электрическому изнашиванию, влиянию высоких температур, что приводит к возникновению значительного количества повреждений, интенсивного местного и локального износа проводов, возникновению аварийных ситуаций. Только за 2014 год количество повреждений контактных проводов возросло в два раза, по сравнению с 2013 годом, а удельная повреждаемость устройств контактной сети на 100 км ее развернутой длины возросла на 55,4 %, что является показателем повального старения контактной сети. На рисунке 1 приведена динамика изменения развернутой длины контактной сети Украины с указанием длины участков, которые эксплуатируются уже более 40 лет. Следует отметить, что главные пути электрифицировались первыми.

Такая тенденция старения контактной сети вызывает необходимость ежегодной замены по меньшей мере 400 км контактной сети для нивелирования ежегодного увеличения развернутой длины участков

со сроком эксплуатации более 40 лет.

На рисунке 2 приведено распределение повреждений проводов и тросов контактной сети железных дорог Украины за период с 2004 по 2014 год.

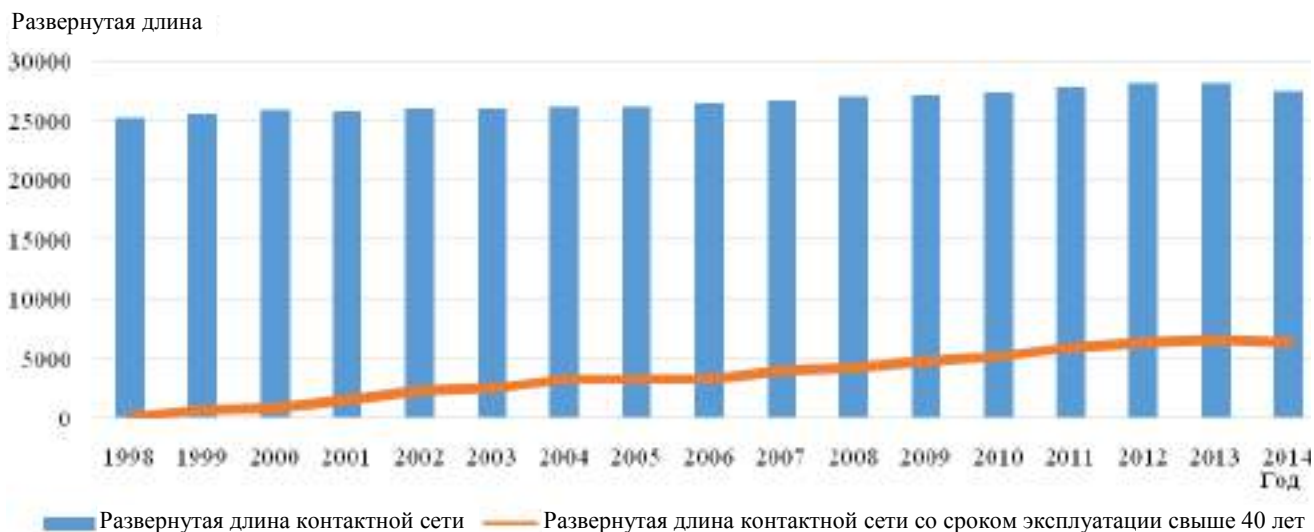


Рисунок 1 – Динамика изменения развернутой длины контактной сети

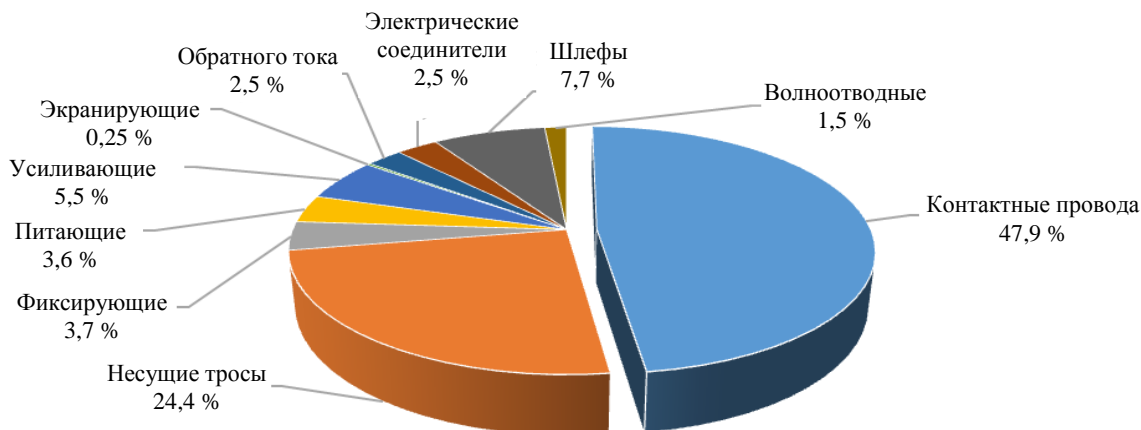


Рисунок 2 – Распределение повреждений проводов и тросов контактной сети

Согласно [4] одним из наиболее важных требований для контактных сетей скоростных участков является обеспечение равномерной эластичности при увеличенном натяжении контактных проводов и тросов, добиться чего невозможно при эксплуатации на главных участках пути проводов, которые используются уже значительный период времени. В соответствии с [3] при уменьшении сечения контактных проводов их прочность на растяжение резко падает, что вызывает необходимость уменьшения натяжения. Вместе с этим известно, что целью работ по совершенствованию качества токосяема является достижение наибольшей его экономичности, прежде всего на основе достижения долговечности контактного провода при обеспечении требуемой долговечности контактных вставок токоприемников и надежности их взаимодействия [5].

Постоянное повышение скорости движения электроподвижного состава и увеличение его мощности приводит к увеличению интенсивности воздействия разнообразных факторов, влияющих на уменьшение ресурса работы контактных проводов и токосяемных

элементов. Проведенный анализ показывает, что определяющими факторами интенсивности изнашивания контактных проводов являются условия эксплуатации, свойства материалов проводов и токосяемных элементов токоприемников электроподвижного состава [6, 7].

Резкое сокращение нормативного срока эксплуатации токосяемных элементов полозов токоприемников может возникнуть из-за проведения некачественного ремонта, неправильной эксплуатации, разнообразных перегрузок, использования некачественной продукции и проблем, связанных с некачественной регулировкой контактной сети, что может вызвать интенсивное механическое и электрическое изнашивание обоих элементов пары трения [8, 9].

На основе данных о повреждении полозов токоприемников электропоездов некоторых локомотивного депо, которые обслуживают электроподвижной состав переменного тока, было решено произвести анализ распределения повреждений полозов токоприемников в течение года. Для этого был применен алгоритм линейной

интерполяции массива данных и установлено, что характер распределения повреждений полозов токоприемников имеет резко выраженные сезонные колебания [6], вызванные воздействием различных параметров.

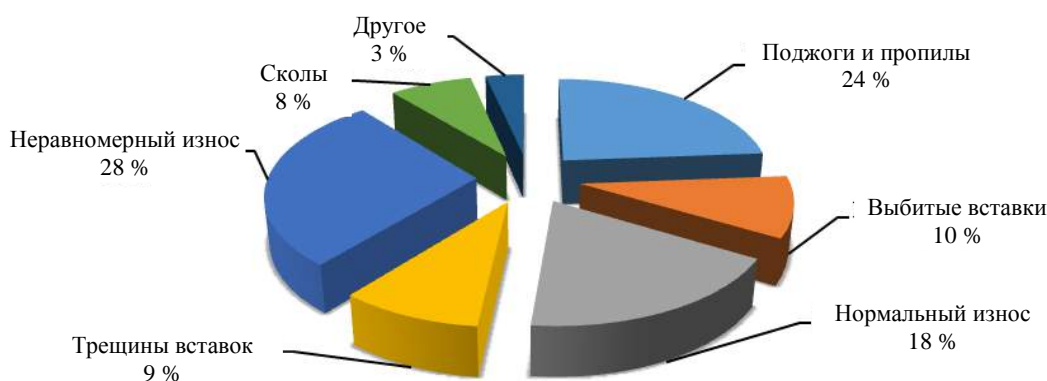


Рисунок 3 – Распределение неисправностей полозов токоприемников

В ходе исследования для определения зависимости видов повреждений и мест их расположения на полозе токоприемника проводился осмотр поверхности вставок в условиях локомотивных депо [8]. При анализе характера износа вставок были обнаружены два разных вида износа их поверхности. Первый и третий ряды вставок трехрядного полоза имели сколы различной площади. Причина появления сколов на передней, набегающей, части вставки первого ряда заключается в ударном воздействии на это место контактного провода [10]. Подпалы на сбегающей части вставки третьего ряда в основном вызваны искровым и дуговым влиянием. Вставки второго ряда имеют меньше всего боковых сколов, поверхность на большей части вставок – шлифованная проводом.

Повышение скорости движения электроподвижного состава требует повышения надежности работы системы электроснабжения и, главным образом, обеспечения непрерывного токосъема.

На сегодня состояние контактной сети электрифицированных железных дорог Украины не соответствует требованиям, предъявляемым для обеспечения надежной работы скоростных поездов. Главными причинами отказов в работе устройств контактной сети являются: низкое качество обслуживания; механические разрушения, обрывы; разрегулирование; перекрытия и разрушения изоляции; бракованная арматура контактной сети; изношенность и старение проводов и тросов.

Главная причина повреждений контактных проводов – пережоги. По сравнению с 2004 годом их количество выросло в 4 раза. Частично это связано с появлением на железных дорогах Украины скоростных электропоездов Hyundai Rotem HR CS 2, в ходе эксплуатации которых только в 2014 допущено 207 случаев повреждений токоприемников, 64 из них – с износом системы защиты АДД. В ходе проведенного анализа выявлено, что повреждения токосъемных элементов в большинстве случаев вызваны неудовлетворительным состоянием контактной сети и частично конструктивными особенностями токоприемников.

На рисунке 3 можно увидеть, что наибольшая доля неисправностей, через которые необходимо проводить замену полозов токоприемников, приходится на поджоги с пропилами и неравномерный износ вставок.

Беспокойство вызывает «обвальное» старение контактной сети. В период с 1998 по 2014 год эксплуатационная длина электрифицированных путей, которые находятся в эксплуатации более 40 лет, увеличилась в 25 раз и составляет 23,2 % от общей протяженности.

Учитывая, что в первую очередь проводилась электрификация железных дорог на главных направлениях движения поездов, вопрос капитального ремонта контактной сети этих участков становится еще более актуальным.

Наряду с техническими к главным причинам, которые привели к многочисленным повреждениям, можно отнести крайне низкий уровень исполнительской и технической дисциплины работников хозяйства электроснабжения. Их халатное отношение к проведению ремонтов и осмотров контактной сети приводит в итоге, к появлению аварийных ситуаций.

Для обеспечения необходимого уровня качества контактной сети необходимо увеличить объемы капитальных ремонтов, а при проектировании новых участков контактной сети и их модернизации – предусматривать полную замену полукомпенсированных контактных подвесок компенсированными, с отдельной компенсацией контактных проводов и несущих тросов.

На скоростных электропоездах Hyundai Rotem HRCS2 и Shkoda EJ675, которые начали эксплуатироваться на железных дорогах Украины с 2012 года, используются токоприемники производства компании «Faveley-Lekov» (Франция – Чехия), серии AX-NG, полностью соответствующие межгосударственным техническим требованиям ОСЖД Р-668 и предназначенные для эксплуатации на участках со скоростью движения до 250 км/ч. Их рабочая высота составляет 2600 мм, нажатие может регулироваться с помощью системы управления в пределах от 50 до 120 Н. Токоприемники такой серии предназначены для эксплуатации на участках как переменного, так и постоянного тока, их нагрузочная способность заявлена производителем и составляет 2500 А (DC) при использовании соответствующих токосъемных элементов.

В процессе эксплуатации надежность работы токоприемников Hyundai Rotem HRCS2 оказалась суще-

ственно ниже, чем токоприемников Shkoda EJ675. Об этом свидетельствуют отчеты локомотивного хозяйства и хозяйства электроснабжения. Такая ситуация вызвана конструктивным отличием этих токоприемников: токоприемник электропоезда Hyundai Rotem HRCS2 имеет два полоза, которые жестко закреплены между собой на подрессоренной каретке, в то время как у токоприемников электропоезда Shkoda EJ675 на подвижной каретке установлены два полоза, которые имеют независимое друг от друга подрессоривание и не соединены жестко между собой.

В ходе эксплуатации установлено, что устойчивость полоза токоприемника электропоезда Hyundai Rotem HRCS2 при прохождении жестких точек несколько ниже, чем токоприемника электропоезда Shkoda EJ675, из-за чего он больше склонен к повреждению токо-съемных элементов (появление трещин, сколов, отслоение от несущего профиля).

Известна аналогичная ситуация, которая сложилась при эксплуатации токоприемника ТП-250 электропоезда «Сокол», где устанавливались два подрессоренных полоза, которые должны были работать независимо друг от друга, но из-за ошибочного решения эксплуатационников полозы этого токоприемника были жестко соединены между собой, что привело к преждевременному выходу из строя углеродных токосъемных элементов типа «С», которые на нём устанавливались. После исправления допущенной ошибки проблема самоликвидировалась.

На электропоездах Hyundai Rotem HRCS2 и Shkoda EJ675 устанавливаются токосъемные элементы марки RH83M6 и RH85M6 соответственно. Они производятся немецкой компанией «PanTrac» и представляют собой монолитные части длиной 1150 мм из углеродно-медного композиционного материала, пропитанные оловом. Технические характеристики материалов приводятся в документации производителя, оба материала обладают достаточно низким удельным электрическим сопротивлением – 7 и 4 мкОм соответственно, имеют одинаковые прочностные характеристики, но материал марки RH85M6 обладает несколько большей плотностью. При анализе токосъемных элементов установлена неравномерность распределения медной составляющей по длине полоза. Обнаруженные включения могут привести к появлению абразивного износа контактных проводов.

Заключение.

1 Для достижения повышения скорости движения электроподвижного состава на железных дорогах Украины необходимо достичь повышения надежности работы системы электроснабжения и, главным образом, обеспечить непрерывный токосъем, что является сложной задачей при имеющейся тенденции обвального старения контактных сетей.

Получено 12.12.2016

A. V. Antonov. Determination directions of increasing efficiency of the system «contact wire – current collector» with the introduction of high-speed traffic.

The aim of this work is to identify key issues that arise during the operation of the contact suspension and current collector of electric rolling elements at high-speed motion and development of recommendations on improvement of their work. In work the analysis of malfunctions of wires and cables, contact networks, investigated the problems that arise in the operation of various types of current collectors and current collecting elements of high-speed trains and their impact on the reliability of the process of current collection. The study established that the status of the contact network of electrified Railways of Ukraine does not meet the requirements to ensure reliable operation of high-speed trains, there is a total aging catenary.

2 Необходимо принять меры для повышения уровня исполнительской и технической дисциплины работников хозяйства электроснабжения и локомотивных депо.

3 Для повышения надежности работы токоприемников электропоезда Hyundai Rotem HRCS2 необходимо пересмотреть их конструктивные особенности, а также необходимо произвести сравнительные стендовые испытания на износ контактного провода при использовании токосъемных элементов марок RH83M6 и RH85M6.

Список литературы

- 1 **Фрайфельд, А. В.** Проектирование контактной сети / А. В. Фрайфельд, Б. Г. Брод. – М. : Транспорт, 1991. – 355 с.
- 2 **Купцов, Ю. Е.** Увеличение срока службы контактного провода / Ю. Е. Купцов. – М. : Транспорт, 1972. – 160 с.
- 3 ОСЖД Р610-8. Общие технические требования к системам тягового электроснабжения постоянного и переменного тока скоростных и высокоскоростных линий.
- 4 Правила устройства и технического обслуживания контактной сети электрифицированных железных дорог ЦЕ-0023: Приказ Укрзалізничці от 20.11.2007 г. № 546Ц.
- 5 **Яндович, В. Н.** Сравнительный анализ контактных подвесок в странах Евросоюза и Украины: организация належного токосъема / В. Н. Яндович, В. Г. Сыченко, А. В. Антонов // Електрифікація транспорту. – 2014. – № 7. – С. 67–77.
- 6 **Купцов, Ю. Е.** Беседы о токосъеме и его надежности, экономичности и о путях совершенствования / Ю. Е. Купцов. – М. : Модерн – А, 2001. – 256 с.
- 7 **Большаков, Ю. Л.** Підвищення ресурсу вугільних струмозмінальних вставок струмоприймачів швидкісного електропотягового складу в умовах експлуатації / Ю. Л. Большаков, А. В. Антонов // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. Нац. ун-ту заліз. трансп. – 2015. – № 5. – С. 57–70.
- 8 **Большаков, Ю. Л.** Дослідження властивостей струмозмінальних елементів та їх впливу на ефективність роботи трибосистеми «контактний провід – вугільна вставка» / Ю. Л. Большаков, А. В. Антонов // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. Нац. ун-ту заліз. трансп. – 2015. – № 6. – С. 35–44.
- 9 **Большаков, Ю. Л.** Діагностування вугільних струмозмінальних вставок в умовах експлуатації / Ю. Л. Большаков, А. В. Антонов // Електрифікація транспорту. – 2015. – № 9. – С. 15–22.
- 10 **Антонов, А. В.** Определение возможных путей повышения эффективности работы угольных токосъемных вставок токоприемников электроподвижного состава / А. В. Антонов // Наука, творчество и образование в области электроэнергетики и электротехники – достижения и перспективы: тр. Всерос. науч.-практ. конф. – Хабаровск : ДВГУПС, 2015. – С. 70–75.
- 11 **Большаков, Ю. Л.** К вопросу выбора рациональной формы профиля контактных вставок токоприемников электроподвижного состава / Ю. Л. Большаков, И. С. Гершман, В. Г. Сыченко // Заліз. трансп. України. – 2007. – № 3. – С. 53–54.

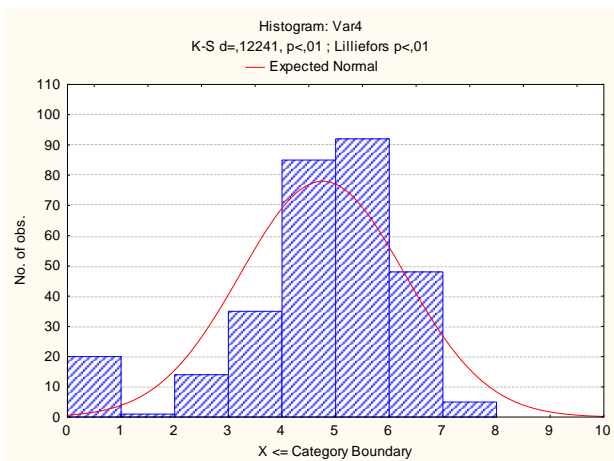


Рисунок 2 – Графическое представление закона распределения времени ожидания посадки при работе ПТС по расписанию

Тогда, подставив полученные результаты в выражение (17), выборочная совокупность для повторного отбора составит

$$n \geq \frac{1,96^2 \cdot 1,53^2}{0,05^2} = 3614 \text{ пас.}$$

Таким образом, для проведения требуемого анализа величины времени ожидания посадки при работе по расписанию необходимо получить выборочную совокупность из более чем 3614 значений. Полученные при проведении исследования данные были обработаны с помощью пакета «Statistica». Статистической обработкой определены законы распределения случайных величин времени ожидания посадки. Установлено, что они подчиняются нормальному закону распределения. Основные статистики, рассчитанные также с помощью программы «Statistica», приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики распределения времени ожидания посадки при работе ПТС по расписанию

Число наблюдений	Среднее значение	Минимум	Максимум	Среднеквадратическое отклонение	Стандартная ошибка
4562	5,19	0,10	10,20	1,50	0,02

Графическое представление полученной закономерности представлено на рисунке 3.

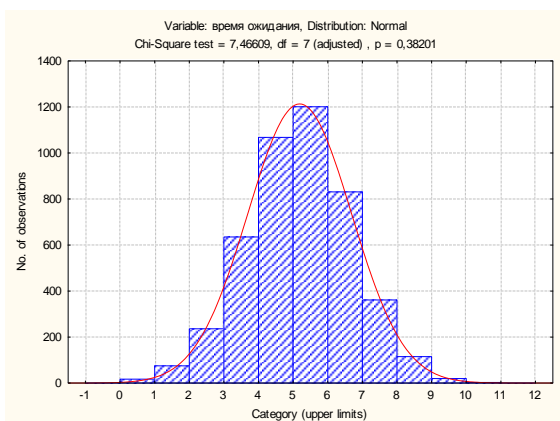


Рисунок 3 – Графический результат анализа, выполненного в модуле DistributionFitting

В целом распределение значений анализируемого признака на рисунке совпадает с нормальным. Это за-

ключение, основанное на визуальном анализе распределения, имеет и более строгое подтверждение в виде результатов теста χ^2 -квadrat (Chi-square test, см. в верхней части графика). Данный тест проверяет нулевую гипотезу о том, что наблюдаемое распределение признака не отличается от теоретически ожидаемого нормального распределения. Поскольку вероятность справедливости этой гипотезы P оказалась больше 0,05 (0,38201) и табличное значение $\chi^2_{0,05;8} = 15,51$ (где 8 – число степеней свободы, равное разности количества интервалов разбиения и числа исчисленных статистических характеристик [11]) больше расчетного, то можно сделать вывод о том, что гипотеза о нормальности распределения верна.

Однако следует отметить, что мощность теста χ^2 при проверке нормальности распределения относительно невысока. Поэтому лучше воспользоваться другими тестами [12].

Наиболее предпочтительным является использование W -критерия Шапиро – Уилка (рисунок 4), поскольку он обладает наибольшей мощностью в сравнении со всеми перечисленными критериями (т.е. чаще выявляет различия между распределениями в тех случаях, когда они действительно есть) [11, 12].

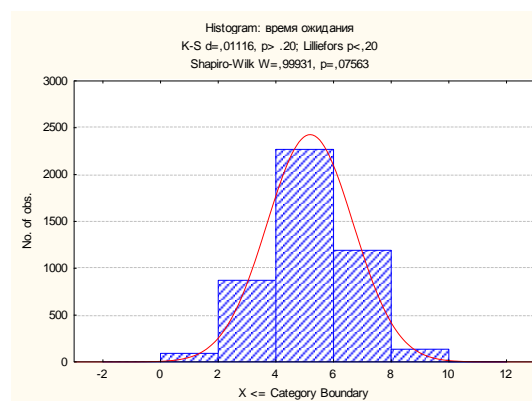


Рисунок 4 – Результат проверки нормальности распределения данных, выполненной при помощи модуля DescriptiveStatistics

Как и ранее, при $P > 0,05$ следует вывод о том, что анализируемое распределение не отличается от нормального. Таким образом, в результате экспериментальных исследований установлено, что при работе по расписанию среднее значение времени ожидания составляет 5,2 мин. Подставив полученные значения в формулу (16), получим

$$I = \sqrt{5,2 + 91,44} + 5,2 = 15,0 \text{ мин.}$$

Следовательно, численное значение интервала, при котором целесообразно организовать работу по расписанию, определенное на основе исследования, составляет 15 мин.

Список литературы

- 1 Скиркоцкий, С. В. Повышение эффективности городских перевозок пассажиров автобусами / С. В. Скиркоцкий // Вестник Белорус. гос. ун-та трансп.: Наука и транспорт. – 2006. – № 1–2. – С. 97–101.
- 2 Скиркоцкий, С. В. Совершенствование системы управления городским пассажирским транспортом / С. В. Скиркоцкий // Наука – образованию, производству, экономике : материалы Междунар. науч.-техн. конф. Т. 1 / под общ. ред.