

УДК 625.7/.8

**Разработка надежных методов прогноза максимальных расходов и  
объемов ливневого стока Республики Казахстана**

**Магистр <sup>2</sup>2 курс, ТС, КазАДИ им. Л.Б.Гончарова (г.Алматы)**

**Есенгалиев Е.Ж.<sup>1, 2</sup>,**

**e-mail: [erdaulet0498@mail.ru](mailto:erdaulet0498@mail.ru)**

**Научный руководитель: Еспаева Г.А., кандидат технических  
наук, доцент**

**Қазақстан Республикасында ағынның максималды жылдамдығы мен  
ағынының көлемін болжаудың сенімді әдістерін жасау**

**Аннотация:** Мақалада жолдың барлық құрылымдық элементтерінің функционалды сенімділігін қамтамасыз ету жүйесі, оның ішінде нөсерлік ағынның тікелей және автомобиль жолының бөлу жолағынан ықпалы сипатталған. Гидрологиялық және гидравликалық құбылыстарды зерттеу нәтижелерін автомобиль жолдарындағы шағын су өткізу құрылыстарын жобалау және пайдалану тәжірибесінде қолдану.

**Түйінді сөздер:** Су өткізгіш құрылыстар; автомобиль жолы; үйінді; жер төсемесі; нөсерлік ағын.

**Аннотация:** В статье описана система обеспечения функциональной надежности всех конструктивных элементов дороги, включая воздействие ливневого стока непосредственно и с полосы отвода автомобильной дороги. Применение результатов исследований гидрологических и гидравлических явлений в практике проектирования и эксплуатации малых водопропускных сооружений на автомобильных дорогах.

**Ключевые слова:** Водопропускные сооружения; автомобильная дорога; насыпь; земляное полотно; ливневой сток;

**Abstract:** The article describes a system for provision of functional reliability for all structural components of a highway including the impact of the storm water runoff actually and from the right of way. The use of the results of the investigations for hydrological and hydraulic phenomena in the practice of designing and operating of small culverts on the highways.

**Keywords:** Culverts; highway; embankment; subgrade; storm water runoff;

## ВВЕДЕНИЕ

С целью разработки надежных методов прогноза, максимальных расходов и объемов ливневого стока необходимо получить и обработать данные по ряду наблюдений метеостанций Республики Казахстан.

Ряд наблюдений, а именно: продолжительность ливня, количество осадков ливня, были получены от РГП «КАЗГИДРОМЕТ» по следующим метеостанциям: Акколь, Актау, Актобе, Алматы ОГМС, Арал Тенизи, Аркалык, Астана, Атырау, Аягоз, Бейнеу, Джанибек, Диевская, Екибастуз, Жаркент, Жезказган, Житикара, Зайсан, Индерборский, Кайнар, Капшагай, Карабалык, Карабутак, Караганда, Каркаралы, Кишкенеколь, Костанай, Кульсары, Кызылорда, Петропавловск, Пресногорьковка, Рузаевка, Сарыколь, Семей, Талдыкорган, Тараз, Туркестан, Уральск, Усть-Каменогорск, Учарал, Чапаево, Чиганак, Шалкар и Шымкент за 5 лет. Охват территории Республики Казахстан составил порядка 80%.

Статистическая обработка полученных данных выполнено с вероятностью превышения, как для расчетов автомобильно-дорожных водопропускных сооружений. Вероятность превышения составлена согласно СН РК 3.03-01-2013 таблица 1.

**Таблица 1- Вероятность превышения**

Категория дороги	Вероятность превышения паводка на подходе к сооружению, %	
	Малый мост	Труба
I	1	1
II-III	1	2
IV-V	2	3

В качестве примера алгоритма получения интенсивности с заданной вероятностью превышения (ВП) рассмотрено ниже.

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ПРЕВЫШЕНИЯ С ЗАДАННОЙ ПРОЦЕНТНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТЬЮ

Группированным статистическим рядом абсолютных частот называется последовательность пар чисел

$$(x_1^* \cdot n_1^*) \cdot (x_2^* \cdot n_2^*) \dots (x_m^* \cdot n_m^*)$$

где  $x_k^*$  — центр  $k$ -го интервала группировки и  $n_k^*$  — число элементов выборки, попавших в  $k$ -й интервал.

Числа  $n_k^*$  ( $k = 1 \dots m$ ) называются абсолютными частотами. [7, 8]

Находим минимальный и максимальный элемент выборки. Это 1-й и 27-й элементы соответственно:  $x_{\min} = 0.00000$  и  $x_{\max} = 8.65000$ .

Находим длину интервала группировки

$$h = (x_{\max} - x_{\min}) / m = (8.65000 - 0.00000) / 40 = 0.21625.$$

Здесь  $m = 40$  - число интервалов группировки.

Находим правые границы интервалов группировки:

$$x_k = x_{\min} + kh \quad (k = 1 \dots 40).$$

0.21625	0.43250	0.64875	0.86500	1.08125	1.29750	1.51375	1.73000
1.94625	2.16250	2.37875	2.59500	2.81125	3.02750	3.24375	3.46000
3.67625	3.89250	4.10875	4.32500	4.54125	4.75750	4.97375	5.19000
5.40625	5.62250	5.83875	6.05500	6.27125	6.48750	6.70375	6.92000
7.13625	7.35250	7.56875	7.78500	8.00125	8.21750	8.43375	8.65000

Находим центры  $x_k^*$  интервалов группировки по формуле:

$$x_k^* = x_k - h/2 \quad (k = 1 \dots 40).$$

0.10812	0.32437	0.54062	0.75687	0.97313	1.18937	1.40562	1.62187
1.83813	2.05438	2.27063	2.48687	2.70312	2.91938	3.13563	3.35188
3.56813	3.78438	4.00062	4.21687	4.43312	4.64938	4.86562	5.08187
5.29812	5.51437	5.73062	5.94687	6.16312	6.37937	6.59563	6.81187
7.02812	7.24437	7.46062	7.67687	7.89313	8.10938	8.32563	8.54188

Для каждого интервала группировки  $(x_{k-1} \cdot x_k)$  находим число  $n_k^*$  элементов выборки, попавших в этот интервал. Важно чтобы каждый элемент выборки был отнесен к одному и только к одному интервалу, а если значение элемента попадает на границу интервала, то будем относить его к интервалу с младшим номером. Минимальный элемент всегда относим к первому интервалу, максимальный к последнему. Для облегчения работы воспользуемся приведенной ниже в таблице 2.

**Таблица 2 - Интервалы группировки**

Номер Интервала $k$	Центр Интервала $x_k^*$	Границы Интервала	Попало в Интервал $n_k^*$	Номера элементов попавших в интервал
1	0.10812	0.00000... 0.21625	2	1 2
2	0.32437	0.21625... 0.43250	0	
3	0.54062	0.43250... 0.64875	4	3 4 5 6
4	0.75687	0.64875... 0.86500	1	7
5	0.97313	0.86500... 1.08125	0	

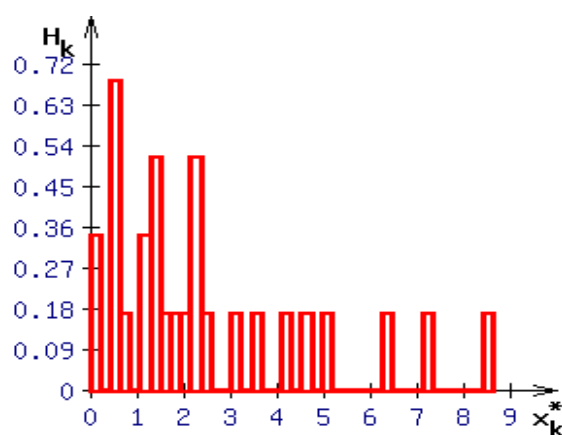
Убеждаемся, что сумма всех абсолютных частот  $n_k^*$  равна объему выборки 27.  
 $2+0+ \dots +1 = 27$

Убеждаемся, что сумма всех высот  $H_k$ , умноженная на  $h$ , равна единице (допускается небольшое отличие от единицы в рамках погрешности вычислений)  $0.34254+ 0.00000+ \dots + 0.17127 = 4.62428$ ;  
 $4.62428 \cdot 0.21625 = 1.00000$ .

На оси абсцисс выбираем начальную точку чуть левее точки  $x_1 = 0.21625$ . и такой масштаб, чтобы на оси поместился интервал  $[x_1 \cdot x_{40}] = [0.21625 \cdot 8.65000]$  и отчетливо различались точки  $x_k$ .

На оси ординат выбираем начало отсчета в точке 0 и такой масштаб, чтобы отчетливо различались  $H_k$ .

Для построения гистограммы относительных частот на ось абсцисс наносим интервалы  $[x_{k-1} \cdot x_k]$  и используя каждый из них как основание, строим прямоугольник с соответствующей высотой  $H_k$ . Получаем гистограмму, изображенную на рисунке 1.



**Рисунок 1 - Гистограммы относительных частот**

По результатам статистической обработки данных метеостанций построены кумулятивные кривые, определены интенсивности ливней с требуемой вероятностью превышения в зависимости от категории дороги. [15, 16, 17]

По кумулятивным кривым были определены интенсивности вероятностей превышения по каждой метеостанции, переведены в таблице 5.

**Таблица 5 - Интенсивность ливня,  $a_{\text{час}}$**

Интенсивность ливня часовой продолжительности, мм/мин, при ВП, %								
Метеостанция	10	5	4	3	2	1	0,3	0,1
Акколь	3,372	3,801	3,9	3,997	4,038	4,136	4,165	4,173
Актау	0,73	0,965	0,975	1,089	1,101	1,112	1,12	1,122
Актобе	1,712	1,942	1,963	2,069	2,09	2,111	2,126	2,131
Алматы	0,623	0,712	0,784	0,864	0,95	1,534	1,588	1,592
Аральск	2,884	5,379	5,611	5,67	5,728	5,892	5,933	5,945
Аркалык	1,954	4,93	5,588	5,843	5,966	6,073	6,116	6,128
Астана	1,527	3,02	4,068	4,508	4,554	4,605	4,637	4,647
Атырау	1,975	3,526	3,626	3,718	3,756	3,839	3,866	3,874

В следствии проделанной работы была построена карта Республики Казахстан для вероятности превышения – 1%. рисунок 2.



**Рисунок 2 – Карта Республики Казахстан с изолиниями часовой интенсивности, при ВП – 1%**

Аналогично был произведен расчет по всем вероятностям превышения в зависимости от интенсивности ливня в часовой продолжительности составлена карта рисков участков дорог республиканского значения подверженных паводковым водам в весенний период, в основу которой положены технологии математического моделирования стока ливневых вод на основе представления поверхности водосборного бассейна в виде математической модели на горизонталях, которая позволяет моделировать водосборы с любой степенью детализации.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Гидрологическое обоснование проектных решений автомобильных дорог должно предусматривать, в конечном итоге, создание надежных и долговечных водопропускных сооружений, способных противостоять высоким паводкам. Также принимать целесообразные решения плана и продольного профиля автомобильных дорог в местах пересечений водотоков, с целью обеспечения функциональной надежности всех конструктивных элементов дороги, включая воздействие ливневого стока непосредственно и с полосы отвода автомобильной дороги.

Результаты выполненной научно-исследовательской работы позволяют впервые представить процесс формирования стока ливневых вод максимально приближенный к реальному. С позиций, исключающих целый ряд допущений, свойственных современному мнению и существенно изменить представление о формировании ливневого стока в виду следующих причин: в настоящее время неудовлетворенность положения в теории и практике гидрологических расчетов при проектировании водопропускных сооружений на автомобильных дорогах все более подчеркивает насущную необходимость их модернизации и совершенства; выполненные наблюдения за процессом прохождения ливней показывают на нестационарность гидрологических данных.

### **Список использованных источников**

1. Долгов Н.Е. Основные положения теории стока ливневых вод // Гидрометеорологический вестник. – 1916. - №1. – С.18-45.
2. Перевозников Б.Ф., Бликштейн С.М., Пичугов Г.С., Соколов М.Л., Ширяев А.И. Дорожно-мостовая гидрология – справочник. – М.: Транспорт, 1983. – 200с.