

Определение допустимой погрешности гидрологических прогнозов

При оценке прогнозов предполагается, что ошибки каждого прогноза случайны, а их распределение подчиняется уравнению нормального распределения. Распределение погрешностей прогнозов имеет асимметричный характер. Всегда есть определенный предел их минимальных значений, в пределах обеспеченности от 10 до 90 % распределение ошибок близко к нормальному, что позволяет при оценке эффективности методик и оправдываемости прогнозов использовать уравнение нормального распределения:

$$p(x) = \frac{1}{\bar{\sigma}\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\Delta^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.1)$$

где $p(x)$ – вероятность данного отклонения случайной переменной x от ее нормы $\bar{x}$; Δ – заданное значение этого отклонения; $\bar{\sigma}$ – среднее квадратическое отклонение переменной x .

В пределах $\pm 0,674\bar{\sigma}$ заключена половина площади нормированной кривой нормального распределения. Отклонение от нормы, равное $\pm 0,674\bar{\sigma}$, называют вероятным отклонением, которое принимается за допустимую погрешность прогнозов $\delta_{дон}$ [3].

Погрешность прогноза δ_i выражается в разности между фактической величиной y_i и величиной y'_i , ожидавшейся по прогнозу:

$$\delta_i = y_i - y'_i. \quad (2.2)$$

Ожидавшаяся по прогнозу величина, сложенная с погрешностью прогноза, должна быть равной фактической величине.

Для оценки оправдываемости прогноза устанавливается допустимая погрешность. Оправдываемость прогноза определяется путем сравнения погрешности прогноза с допустимой погрешностью. Прогноз считается оправдавшимся, если его погрешность равна или меньше допустимой погрешности.

Большое разнообразие прогнозов, различная методика их составления и заблаговременность требуют различного подхода при определении допустимых погрешностей. Ниже даются правила назначения допустимых погрешностей для различных видов прогнозов.

Допустимая погрешность прогнозов уровней или расходов воды и объема стока. К этим прогнозам относятся прогнозы объема и максимального уровня или расхода половодья или паводков, прогнозы характерных уровней или расходов воды на календарные периоды или сезоны, прогнозы уровня или расхода воды на заданную дату и т. п. За допустимую погрешность для указанных прогнозов принимается меньшее из вероятных отклонений $\pm 0,674\bar{\sigma}$ и $\pm 0,674\bar{\sigma}_\Delta$. Какая из величин $\bar{\sigma}$ или $\bar{\sigma}_\Delta$ меньше, может быть решено без расчета, исходя из характера связи начального и прогнозируемого уровня или расхода:

- если угловой коэффициент линии связи между указанными величинами меньше 0,5, то $\bar{\sigma} < \bar{\sigma}_\Delta$;
- если коэффициент больше 0,5, то $\bar{\sigma} > \bar{\sigma}_\Delta$;
- при отсутствии связи между начальным и прогнозируемым уровнем или расходом $\bar{\sigma} \approx \bar{\sigma}_\Delta$.

Среднее квадратическое отклонение $\bar{\sigma}$ предсказываемого уровня или расхода и объема стока от нормы вычисляется по формуле:

$$\sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}, \quad (2.3)$$

где y_i – значение прогнозируемой величины; $\bar{y}$ – среднее значение величины в многолетнем ряду наблюдений; n – число членов ряда.

Среднее квадратическое отклонение $\bar{\sigma}_\Delta$ изменения уровня или расхода воды или объема стока за период заблаговременности прогноза от нормы этого изменения (таблица 6) вычисляется по формуле:

$$\bar{\sigma}_\Delta = \sqrt{\frac{\sum (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{n-1}}, \quad (2.4)$$

где Δ_i – разность между начальным и конечным значениями за период заблаговременности прогноза; $\bar{\Delta}$ – среднее значение разности между начальным и конечным значениями за период заблаговременности прогноза; δ_i – погрешность прогноза; n – число членов многолетнего ряда.

Величина $\pm 0,674 \bar{\sigma}_\Delta$ принимается за допустимую погрешность для краткосрочных прогнозов характерных расходов или уровней воды на календарные периоды и объемов стока в тех случаях, когда начальное значение водности в значительной мере определяет предсказываемый расход или уровень и объем стока и исключает появление их в многолетнем диапазоне. В остальных случаях за допустимую погрешность принимается $\pm 0,674 \bar{\sigma}$.

Назначение допустимой погрешности для основных видов прогнозов расходов или уровней воды и объема стока приводится ниже.

Допустимая погрешность прогноза объема половодья принимается равной вероятному отклонению объема половодья от среднего его значения за период наблюдений, определяется по формуле:

$$\delta_{\text{ан}} = \pm 0,674 \bar{\sigma} = \pm 0,674 \sqrt{\frac{\sum (W_i - \bar{W})^2}{n-1}}, \quad (2.5)$$

где W_i – объем половодья, м³; $\bar{W}$ – среднее значение объема половодья, м³; n – число членов ряда.

Допустимые погрешности уточнений прогнозов объема половодья, составляемых в период развития половодья, определяются следующим образом:

- для прогнозов, составляемых до наступления максимума:

$$\delta_{\text{дон}} = \pm 0,674 \bar{\sigma} = \pm 0,674 \sqrt{\frac{\sum (W_i - \bar{W}')^2}{n-1}}, \quad (2.6)$$

где W_i' – объем стока от даты составления прогноза до конца половодья, м³; $\bar{W}'$ – среднее значение объема стока за этот же период, м³; n – число членов ряда;

- для прогнозов, составляемых в момент наступления максимального расхода или в начальный период спада половодья:

$$\delta_{\text{дон}} = \pm 0,674 \bar{\sigma}_{\Delta} = \pm 0,674 \sqrt{\frac{\sum (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n-1}}, \quad (2.7)$$

где Δ_i – разность между прошедшим до даты составления прогноза и оставшимся объемом половодья; $\bar{\Delta}$ – среднее значение разности между прошедшим до даты составления прогноза и оставшимся объемом половодья; n – число членов ряда.

Допустимые погрешности прогнозов максимальных расходов или уровней половодья определяются следующим образом:

- прогнозы, составляемые до начала половодья, оцениваются по формуле:

$$\delta_{\text{дон}} = \pm 0,674 \bar{\sigma} = \pm 0,674 \sqrt{\frac{\sum (Q_i - \bar{Q})^2}{n-1}}, \quad (2.8)$$

где Q_i – максимальный расход половодья, м³/с; $\bar{Q}$ – среднее значение максимального расхода половодья, м³/с; n – число членов ряда;

- прогнозы, составляемые в период подъема половодья, оцениваются, исходя из разности максимального расхода или уровня половодья и расхода или уровня в день составления прогнозов, допустимые погрешности принимаются равными вероятным отклонениям этой разности от ее нормы:

$$\delta_{\text{дон}} = \pm 0,674 \bar{\sigma}_{\Delta} = \pm 0,674 \sqrt{\frac{\sum (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n-1}}, \quad (2.9)$$

где Δ_i – разность между максимальным расходом или уровнем и расходом или уровнем в день составления прогноза; $\bar{\Delta}$ – среднее значение разности

между максимальным расходом или уровнем и расходом или уровнем в день составления прогноза; n – число членов ряда.

Допустимые погрешности прогнозов минимальных расходов или уровней воды за период навигации или зимний период принимаются равными вероятному отклонению от нормы:

$$\delta_{\text{дон}} = \pm 0,674\bar{\sigma} = \pm 0,674\sqrt{\frac{\sum(H_i - \bar{H})^2}{n-1}}, \quad (2.10)$$

где H_i – минимальный уровень, см; $\bar{H}$ – среднее значение минимального уровня, см; n – число членов ряда.

К характерным уровням воды во время осенних ледовых явлений относится уровень начала ледохода, минимальный уровень в период ледообразования, а также максимальные уровни при заторах и зажорах льда. Прогнозы этих уровней составляются обычно с небольшой заблаговременностью, поэтому допустимые погрешности прогнозов назначаются, исходя из изменений уровня воды за период заблаговременности прогнозов:

$$\delta_{\text{дон}} = \pm 0,674\bar{\sigma}_{\Delta} = \pm 0,674\sqrt{\frac{\sum(\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n-1}}, \quad (2.11)$$

где Δ_i – разность между характерным уровнем и уровнем в день составления прогноза; $\bar{\Delta}$ – среднее значение изменения уровня за период заблаговременности прогноза, n – число членов ряда.

К характерным уровням воды во время весенних ледовых явлений относится уровень при подвижке льда, уровень начала ледохода, наивысший уровень ледохода, наивысший уровень при заторе льда. Допустимые погрешности прогнозов этих уровней, составляемых до начала весенней прибыли воды, принимаются равными вероятному отклонению от нормы:

$$\delta_{\text{дон}} = \pm 0,674\bar{\sigma} = \pm 0,674\sqrt{\frac{\sum(H_i - \bar{H})^2}{n-1}}, \quad (2.12)$$

где H_i – характерный уровень, см; $\bar{H}$ – среднее значение характерного уровня, см; n – число членов ряда.

Если прогнозы указанных уровней составляются во время развития половодья, то допустимые погрешности принимаются равными вероятным изменениям уровня за период заблаговременности прогнозов по формуле (2.11).

За допустимую погрешность прогнозов средних, минимальных и максимальных уровней или расходов воды на календарные периоды принимается меньшее из вероятных отклонений $\pm 0,674\bar{\sigma}$ и $\pm 0,674\bar{\sigma}_{\Delta}$, где $\bar{\sigma}$ – среднее квадратическое отклонение от нормы; $\bar{\sigma}_{\Delta}$ – среднее квадратическое

изменение уровней или расходов воды за период заблаговременности прогнозов, вычисляемых по формулам (2.3) и (2.4).

Изменение уровней или расходов воды за период заблаговременности прогнозов определяется как разность между средним уровнем или расходом воды за начальную декаду и характерным уровнем или расходом воды того календарного периода (декада, месяц, квартал), на который дается прогноз.

Начальная декада выбирается следующим образом.

Если прогноз на декаду, месяц или другой календарный период составляется в первый день указанных периодов, то за начальный расход принимается соответственно средний расход за предшествующую календарную декаду.

Например -Прогноз среднего (максимального или минимального) расхода воды на первую декаду июля или на июль составляет 01.06, тогда начальный расход равен среднему расходу за третью декаду июня.

Если прогноз на декаду, месяц или квартал составляется в начале какой-либо из предшествующих декад, то за начальный расход принимается соответственно средний расход за предшествующую декаду.

Например-Прогноз среднего (максимального или минимального) расхода воды на первую декаду июля или на июль составляет 12.06, тогда за начальный расход принимается средний расход за первую декаду июня.

Если прогноз на тот или иной календарный период составляется в середине или в конце какой – либо из предшествующих декад, то за начальный расход принимается соответственно средний расход за ту календарную декаду, на которую составляется прогноз.

Например-Прогноз среднего (максимального или минимального) расхода воды на первую декаду июля или на июль составляет 18.06, тогда за начальный расход принимается средний расход за вторую декаду июня.

Допустимая погрешность прогноза среднего расхода воды за вегетационный период принимается равной вероятному отклонению от нормы:

$$\delta_{дон} = \pm 0,674\bar{\sigma} = \pm 0,674\sqrt{\frac{\sum(Q_i - \bar{Q})^2}{n-1}}, \quad (2.2)$$

где Q_i –средний расход за вегетационный период, м³/с; $\bar{Q}$ – среднее значение среднего расхода, м³/с; n –число членов ряда.

Допустимая погрешность прогноза максимального расхода за вегетационный период определяется аналогично определению допустимой погрешности прогноза максимального расхода половодья по формуле (2.8).

Прогнозы распределения стока за вегетационный период представляют собой по существу прогнозы средних месячных расходов воды за период апрель–сентябрь. Поэтому при оценке таких прогнозов допустимые

погрешности назначаются для каждого месяца отдельно и принимаются равными вероятному отклонению от нормы расхода данного месяца.

Общая оценка прогноза распределения стока за вегетационный период делается на основании оправдываемости средних месячных расходов как процентное отношение числа оправдавшихся прогнозов к общему числу случаев.

Пример, если из 6 месяцев вегетационного периода не оправдался расход лишь для одного месяца, то оправдываемость прогноза распределения стока в этом случае будет: $\frac{5 \times 100}{6} = 83 \%$.

Аналогичным путем оцениваются и прогнозы распределения стока по декадам или месяцам за период половодья или за квартал. Допустимые погрешности определяются отдельно для каждой декады, для каждого месяца или квартала внутри половодья и принимаются равными вероятному отклонению от нормы.

Допустимая погрешность прогноза уровней или расходов воды на конец декады в течение месяца определяется также отдельно для каждой декады аналогично тому, как определяется допустимая погрешность прогноза минимального или максимального декадного уровня или расхода воды на календарные периоды.

Допустимая погрешность для прогноза объема дождевого паводка принимается равной вероятному отклонению от нормы:

$$\delta_{\text{дон}} = \pm 0,674 \bar{\sigma} = \pm 0,674 \sqrt{\frac{\sum (W_i - \bar{W})^2}{n-1}}, \quad (2.14)$$

где W_i – объем дождевого паводка, м³; $\bar{W}$ – среднее значение объема, м³; n – число паводков за многолетний период.

Допустимая погрешность прогноза максимального уровня или расхода дождевого паводка принимается равной вероятному изменению уровня или расхода воды за период заблаговременности прогноза:

$$\delta_{\text{дон}} = \pm 0,674 \bar{\sigma}_{\Delta} = \pm 0,674 \sqrt{\frac{\sum (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n-1}}, \quad (2.15)$$

где Δ_i – разность между максимальным расходом дождевого паводка и расходом в день составления прогнозов; $\bar{\Delta}$ – среднее значение разности между максимальным расходом дождевого паводка и расходом в день составления прогнозов; n – число паводков за многолетний период.

Прогнозы уровней или расходов воды на заданную дату имеют обычно относительно небольшую заблаговременность и чаще всего составляются по методу соответственных уровней, расходов и объемов воды. Допустимая погрешность для этих прогнозов принимается равной вероятному изменению уровня или расхода воды за период заблаговременности прогноза:

$$\delta_{\text{доп}} = \pm 0,674 \bar{\sigma}_{\Delta} = \pm 0,674 \sqrt{\frac{\sum (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n-1}}, \quad (2.16)$$

где Δ_i – изменение расхода воды за период заблаговременности прогноза, которое равно разности между расходом воды на заданную дату и расходом в день составления прогноза; $\bar{\Delta}$ – среднее значение изменения расхода воды за период заблаговременности прогноза; n – число принятых в расчет изменений расхода воды за период заблаговременности.

Для рек с четко выраженным половодьем допустимая погрешность определяется отдельно для периодов подъема половодья, спада половодья и летне-осенней межени. Граница между спадом половодья и летне-осенним периодом относится ко времени окончания крутого спада половодья. Таким образом, величина δ характеризует среднюю интенсивность подъема или спада за период заблаговременности прогноза.

Для рек с неустойчивым водным режимом (частыми подъемами и спадами), а также для всех рек в период межени ($\bar{\Delta} \approx 0$) допустимая погрешность определяется по формуле:

$$\delta_{\text{доп}} = \pm 0,674 \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n-1}}. \quad (2.17)$$

При определении допустимой погрешности используется, как правило, не менее трех характерных лет: многоводный год с резким подъемом и спадом, средний по водности – с умеренной интенсивностью подъема и спада и маловодный – с медленным подъемом и спадом.

Для вычисления допустимой погрешности необходимо иметь не менее 100 изменений уровня или расхода воды за период заблаговременности прогноза, т.е. не менее 30–35 изменений в каждом характерном году, которые определяются по таблицам ежедневных уровней или расходов воды. Если 100 изменений уровня или расхода за период заблаговременности прогноза не могут быть набраны за три характерных года, что может иметь место, например, при расчете допустимой погрешности на подъеме или спаде половодья малой реки, то привлекаются дополнительные годы.

Вычисленная указанным путем допустимая погрешность используется при оценке всех прогнозов, в которых правильно был предсказан знак изменения уровня или расхода воды. Например, ожидался подъем и был подъем, ожидался спад и был спад.

При несовпадении знаков ожидаемого и фактического изменений уровня или расхода воды допустимая погрешность прогнозов принимается равной $0,2 \bar{\sigma}_{\Delta}$, но не менее 5 см для уровней воды и не менее 5 % для расходов воды.

Цели получения метеорологической информации обеспечение народнохозяйственных организаций сведениями о метеорологических условиях в пункте наблюдения; оповещение обслуживаемых организаций об опасных гидрометеорологических атмосферных процессах и явлениях;

обеспечение прогностических органов службы необходимыми данными для составления всех видов прогнозов метеорологических условий и предупреждений об ожидаемых неблагоприятных условиях; накопление и обобщение объективных данных о метеорологическом режиме и климате по территории района, субъекта, страны.

Гидрологические прогнозы широко используются для предупреждения об опасных гидрологических явлениях, в частности для предупреждения о прохождении паводков, о наводнениях, зажорах, заторах и т.д. Для районов с развитой промышленностью и большой плотностью населения в долинах рек подобные предупреждения, в особенности о катастрофических паводках, представляют большую ценность, так как помогают своевременно подготовиться и по возможности уменьшить ущерб от разливов рек.

2.3. Допустимая погрешность прогнозов толщины льда

Прогнозы средней, минимальной или максимальной толщины льда могут составляться как для отдельного пункта, так и для участка реки, озера или водохранилища. При составлении этих прогнозов определяется изменение толщины льда за период заблаговременности. Поэтому независимо от формы самого прогноза (в нем может указываться ожидаемая толщина льда) оценка его должна производиться по изменению толщины льда за период заблаговременности.

Допустимые погрешности прогнозов толщины льда определяются по таблице 10 в зависимости от фактического ее изменения, за период от даты выпуска прогноза до даты, на которую составлялся прогноз.

Таблица 2.1

Допустимые погрешности прогнозов толщины льда

Фактическое изменение толщины льда, см	≤ 10	11-15	16-20	21-25	26-30	> 30
Допустимая погрешность, см	± 3	± 4	± 5	± 6	± 8	± 10
Примечание – Прогноз считается оправдавшимся, если абсолютная величина его погрешности меньше или равна допустимой.						

2.4. Допустимая погрешность прогнозов предельных значений гидрологических явлений

Прогнозами предельных значений гидрологических явлений называются такие, в которых указывается, что ожидаемый параметр будет не более или не менее определенного значения или, что явление осуществится не раньше или не позже определенной даты.

Допустимые погрешности прогнозов предельных значений принимаются близкими к точности измерения или фиксации явлений во времени, а именно:

- для прогнозов расходов и объема стока $\pm 0,05 Q$ или $\pm 0,05 W$ (Q и W – фактические расход и объем стока соответственно);
- для прогноза уровня ± 5 см;
- для долгосрочных прогнозов сроков наступления характерных явлений ± 2 дня, а для краткосрочных прогнозов ± 1 день.