



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра _____ гидрологии суши _____

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему **Построение диспетчерского
графика и оценка отдачи
Вилюйского гидроузла для условий
пониженной отметки наполнения**

Исполнитель _____ Пилипенко Анастасия Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель _____ к.г.н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

_____ Сакович Владимир Михайлович
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

_____ 
(подпись)

_____ к.г.н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

_____ Сикан Александр Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

«06» июля 2017г.

Санкт-Петербург
2017

Оглавление

| | |
|---|--|
| Введение..... | Ошибка! Закладка не определена. |
| 1 Физико-географическое описание района. Ошибка! Закладка не определена. | |
| 1.1 Лено-Индигирский район..... | Ошибка! Закладка не определена. |
| 1.2 Рельеф и почва..... | 7 |
| 1.3 Карст..... | 7 |
| 1.4 Климат..... | Ошибка! Закладка не определена. |
| 1.5 Мёрзлая зона и подземные воды..... | 9 |
| 1.6 Поверхностные воды..... | 10 |
| 2 Гидрологические условия и исходные данные..... | 11 |
| 2.1 Гидрография бассейна реки Вилюй..... | 11 |
| 2.2 Характеристика Вилюйского гидроузла..... | 16 |
| 2.3 Исходная информация..... | 21 |
| 3 Особенности водного режима реки Вилюй в створе гидроузла..... | 24 |
| 3.1 Закономерности внутригодового распределения стока..... | 24 |
| 3.2 Закономерности многолетних колебаний стока..... | 27 |
| 3.3 Статистическая характеристика рядов и расчетные значения стока..... | 33 |
| 3.3.1 Построение и выбор кривых обеспеченности. Назначение обеспеченного расхода..... | 39 |
| 4 Диспетчерские правила управления работой гидроузла..... | 43 |
| 4.1 Назначение и методика построения диспетчерского графика..... | 43 |
| 4.2 Выбор модельных лет и приведение стока к расчетной обеспеченности..... | 48 |
| 4.3 Уточнение параметров водохранилища и гарантированной величины водоотдачи..... | 54 |

| | |
|---|----|
| 4.4 Расчет координат режимных линий диспетчерского графика для новых условий наполнения..... | 57 |
| 5 Оценка изменений в энергоотдаче Вилюйского гидроузла при снижении отметки наполнения водохранилища..... | 64 |
| 5.1 Определение и задачи водноэнергетических расчётов..... | 64 |
| 5.2 Регулирование энергоотдачи Вилюйских ГЭС..... | 65 |
| 5.3 Водноэнергетические расчёты по календарным стоковым рядам для периодов различной водности..... | 67 |
| 5.4 Сопоставление результатов изменения мощности..... | 75 |
| Заключение..... | 79 |
| Список использованной литературы..... | 81 |

Введение

Тематика данной исследовательской работы является одним из разделов исследований в области управления водными ресурсами, в частности, в сфере регулирования стока водохранилищами и гидроэнергетики.

Как показывает мировой опыт наиболее распространенным и эффективным средством управления водными ресурсами и решением многих водных проблем является регулирование стока рек водохранилищами. Доказательством этого является создание каскадов водохранилищ и гидроэлектростанций многоцелевого назначения в бассейнах рек Вольты, Нила, Енисея, Ангары, Волги, Камы и других. Водоохранилища, перераспределяя воду из многоводных сезонов и периодов в маловодные, существенно увеличивают доступные к использованию водные ресурсы и тем самым гарантируют все виды водоснабжения, создают условия для эффективного использования гидроэнергетического потенциала рек, также решают проблему внутригодовой и многолетней неравномерности речного стока.

На реке Вилюй в 1967 году построен каскад Вилюйских гидроэлектростанций имени Е. Н. Батенчука (Вилюйские гидроэлектростанции 1,2). Водоохранилище осуществляет многолетнее регулирование стока для получения выработки электроэнергии и поддержания в период навигации судоходных условий в нижнем бьефе гидроузла.

В 1988-91 годах в бассейне реки Вилюй был зафиксирован самый длительный многоводный период со средним расходом притока в Вилюйское водохранилище в полтора раза выше среднемноголетнего. В результате сброса высоких расходов (до 3500-4000 м³/с) и длительного устойчивого подъема уровней нижнего бьефа произошло растепление грунтов основания плотины, вследствие чего произошли осадки плотины.

В 1990 году в гребневой части плотины со стороны нижнего бьефа образовалась продольная трещина с раскрытием 2-3 см длиной около 400 м и

организацией ОАО «Ленгидропроект» были установлены ограничения на величину форсировки уровня верхнего бьефа до отметки 246,80 м.

После проведения в 1997 году цементации основания в примыкании к водосбросу в пределах зоны растепления, фильтрация уменьшилась, но не исключила полностью образования наледей.

Ограничение максимальной отметки подъема уровня Вилюйских водохранилищ 1,2 отметкой 246,80 м потребовало выполнения расчета обоснования перехода на щадящий режим эксплуатации сооружений гидроузла каскада Вилюйских гидроэлектростанций с понижением отметки наполнения водохранилища до 244,00 м.

В связи с возникшей проблемой главной целью данной исследовательской работы является определение диспетчерских правил наполнения и сработки Вилюйского водохранилища с расчетом координат и построением диспетчерского графика, также с последующим расчетом водноэнергетических характеристик режима работы водохранилища и Вилюйских гидроэлектростанций 1,2 при новых условиях наполнения.

Для достижения поставленной цели в ходе научного исследования было выполнено следующее:

- изучена специальная литература о методах построения диспетчерских графиков водохранилища;
- проанализированы особенности водного режима реки Вилюй в створе поселок Чернышевский;
- выполнены модельные водохозяйственные расчеты водного режима водохранилища в условиях перехода на щадящий режим эксплуатации сооружений Вилюйского гидроузла;
- выполнены модельные водноэнергетические расчеты по оценке отдачи энергии Вилюйских гидроэлектростанций 1,2 с понижением отметки наполнения водохранилища.

1 Физико-географическое описание района

1.1 Лено-Индигирский район

Река Вилюй – самый большой из левых притоков Лены. Длина ее 2650 км, площадь бассейна 454 тысяч км², средний годовой расход воды 1520 м³/сек.

Река находится в Лено-Индигирском районе в северо-восточной части Азиатского материка между 52° 00' и 77° 30' с.ш. и 92° 30' и 160° 00' в.д. на площади более 4,2 млн. км.

Наибольшая протяженность этой территории с севера на юг около 2740 км, с запада на восток более 2300 км. На севере она омывается водами морей Лаптевых и Восточно-Сибирского, на западе граница ее проходит от северной точки мыса Челюскина по водоразделу между притоками озера Таймыр и Хатангского залива и бассейнами рек Лены и Амура, на востоке – по водоразделу между бассейнами рек Индигирки и Колымы до устья последней. Большая часть указанной географической области находится в пределах Республики Саха.

На западе территории находится относительно равнинное Среднесибирское плоскогорье, на севере, вдоль побережья, располагаются обширные приморские низменности, на юге – Байкальская, а на востоке – Северно-Восточная горные области.

Характерной особенностью всей территории является суровый и резко континентальный климат, повсеместное распространение многолетней мерзлоты, наличие наледей (особенно в горах).

Лесной ландшафт на севере и в горных хребтах сменяется тундрой, а местами вечными снегами и льдами.

Наиболее населены и развиты в сельскохозяйственном отношении южные и центральные районы. В горных районах получили развитие

горнодобывающая промышленность и в сравнительно небольшом объеме животноводство, звероводство и охотничий промысел [1].

1.2 Рельеф и почва

В восточном направлении Среднесибирское плоскогорье постепенно переходит в Центральную низменность, охватывающую долины рек Лены, Вилюя и Алдана в их нижнем и отчасти среднем течении и соответствующие междуречные равнины. Низменность представляет собой область устойчивого опускания и осадконакопления в мезозойское, а в центральной части и в кайнозойское время. Почвы.

В бассейне Вилюя в пределах Центральноякутской низменности сравнительно широко распространены сапролевые почвы, образующиеся на месте высохших озер. В нижнем течении Вилюя значительные площади занимают ровные и бугристые пески «тукуланы» поверхность которых лишена растительности. Аллювиальные почвы покрывают пойменные террасы рек Лена, Алдана, Вилюя, Индигирки, Витима и Калара.

1.3 Карст

По степени закарстованности и возможного воздействия карста на формирование стока рассматриваемой территории могут быть выделены области сильного, слабого, потенциального карста и область распространения некарстовующих пород.

Область потенциального проявления карста охватывает обширную территорию северо-восточной части Среднесибирского плоскогорья (бассейны р. Оленька, левых притоков рек Вилюя и Лены) в пределах распространения преимущественно карбонатных пород нижнего палеозоя. Однако в силу особо суровых мерзлотных условий карстовые пустоты и полости в приповерхностной части разреза выполнены льдом, вследствие чего карст активно на сток не влияет. Однако при изменении гидрологического режима

водотоков, например, при создании крупных искусственных водохранилищ, вследствие неизбежного изменения геотермического режима приповерхностной части земной коры возможно протаивание льда карстовых пустот и активизация закарстованной зоны на глубину протаивания. Это обстоятельство и позволяет выделить указанную область как область потенциального проявления карста.

1.4 Климат

Климат рассматриваемой территории характеризуется резкой континентальностью, которая проявляется очень низкими зимними (до минус 50, минус 65 °С) и высокими летними (до 20- 35 °С) температурами воздуха. Разность температур самого холодного и самого теплого месяцев достигает мирового максимума и равна 45- 60° С.

Средняя многолетняя годовая температура воздуха по всей территории ниже нуля и изменяется от минус четырёх на юге до минус шестнадцати градусов в межгорных впадинах северо-востока. Устойчивые морозы на большей части территории к северу от р. Вилюя начинаются в первой, а к югу – во второй декаде октября. Зимы исключительно суровы. Наиболее низких значений температура достигает в январе. На большей части территории средняя месячная температура января минус 35-40 градусов.

Режим осадков на рассматриваемой территории определяется условиями атмосферной циркуляции, географическим положением и характером рельефа.

Годовое количество осадков по территории изменяется от 200-250 мм до 1000 мм. Осадки выпадают в основном в теплый период года. Сумма осадков за холодный период составляет 35-45 мм.

Отношение количества осадков теплого периода к общей сумме осадков по всей территории превышает 70 %, весной осадков выпадает меньше, чем осенью. Наибольшее и примерно одинаковое количество осадков выпадает в июле и августе. Наибольших значений суточный максимум осадков достигает в

верховье р. Алдана, в среднем течении реки Вилюй, где суточный максимум осадков может превышать 100 мм.

На большей части территории снежный покров залегает в течение 220-250 дней в году. Высота снежного покрова в следствии антициклонического режима погоды сравнительно невелика.

Разрушение устойчивого снежного покрова начинается с апреля и заканчивается в середине июне. Характерной особенностью местного снежного покрова является небольшая его плотность.

На испарение в пределах рассматриваемой территории расходуется от 20-30 до 75-85 % атмосферных осадков, выпадают на поверхность водосбора. Наибольшее количество влаги (до 80-85 % годовых осадков) испаряются с речных водосборов. В отдельные годы величина испарения может значительно отклоняться от средних значений.

Наибольшее испарение наблюдается в весенний период и летом, причем в последний сезон оно несколько меньше. Зимой испарение незначительно и в основном происходит в предвесенний месяц (обычно апрель), когда интенсивность испарения со снега достигает 0,5-1 мм/сутки.

1.5 Мерзлая зона и подземные воды

Мерзлота является одним из важнейших природных факторов формирования стока на территории Лено-Индигирского района.

Слой летнего оттаивания грунтов характеризует глубину залегания поверхности многолетнемерзлых пород. Мощность сезонноталого слоя зависит от характера теплообмена грунтов с атмосферой и определяется как широтой местности, так и всей физико-географической обстановкой. Процессы летнего оттаивания и зимнего промерзания грунтов оказывают непосредственное влияние на формирование поверхностных вод.

В южных областях сплошной мерзлой зоны, в областях ее прерывистого распространения, а также в районах широко развития песчаных отложений

(террасы р. Вилюя в его среднем и нижнем течении) в силу неблагоприятных термических условий или высокой степени дренированности деятельного слоя сезонномезлотное регулирование речного стока проявляется значительно менее отчетливо или вообще не проявляется.

К структурам ограниченного взаимодействия подземных вод с поверхностными в пределах Восточно-Сибирской артезианской области относятся Тунгусский артезианский бассейн – в средней и верхней части бассейна р. Вилюя и Лено-Вилюйский артезианский бассейн, охватывающий нижнюю часть бассейнов рек Вилюя и Алдана и часть бассейна р. Лены. Основную роль в этих структурах играют четвертичные, мезозойские и верхнепалеозойские водоносные комплексы.

1.6 Поверхностные воды

Основные черты гидрографии и режима водных объектов в данных условиях определяются сложными сочетаниями климатических особенностей, рельефа, геологического строения и многолетней мерзлоты.

Большие реки текут в меридиональном направлении с юга на север, исключения составляют р. Лена на участке от истока до г. Якутска и р. Вилюй.

Очень малые водотоки (длиной до 10 км) составляют свыше 94 % общего числа, а их длина – около 58 % суммарного протяжения всех рек района.

Густота речной сети относительно большая – в среднем около 0,5 км/км².

Строение речных бассейнов преимущественно ассиметричное. Водораздельные линии большей частью хорошо выражены, за исключением низменностей, где нередко почти не прослеживаются. Характерной чертой речной сети данной территории является ее глубокий врез.

На рассматриваемой территории при общем для всех рек территории смешанном питании преобладание какого-либо его вида в пределах той или иной области и района различно. Реки западной, относительно равнинной части и Центральноякутской низменности имеют преобладающие снеговое питание.

2 Гидрологические условия и исходные данные

2.1 Гидрография бассейна реки Вилюй

Река Вилюй – самый крупный левый приток Лены. Длина ее 2650 км, площадь бассейна 454 000 км², средний годовой расход воды 1520 м³/с. Бассейн реки Вилюй представлен на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Бассейн реки Вилюй

На территории бассейна реки Вилюй протекают более двух тысяч рек длиной более 10 км. Из них 3 реки имеют длину более 1000 км (Вилюй, Марха, Тюнг), 4 реки – от 500 км до 1000 км (Чона, Ыгыатта, Моркока, Тююкэн).

Густота речной сети составляет в среднем около $0,2 \text{ км/км}^2$, в верховьях она увеличивается до $0,23 \text{ км/км}^2$, в низовьях (Центрально-Якутская низменность) уменьшается до $0,16 \text{ км/км}^2$. Количество озер в бассейне составляет 67989, площадь зеркала озер составляет 5130 км^2 . Наиболее крупным озером является Ниджили (площадь зеркала – 119 км^2).

С учетом природных условий на Вилюе выделяются четыре участка: верхний (от истоков до впадения реки Чиркуо протяженностью 938 км), участок Вилюйского водохранилища (длина 397 км), средний (от Чернышевского до реки Мархи длиной 797 км), нижний (от реки Мархи до устья длиной 518 км).

На верхнем участке река Вилюй вначале протекает по болотисто-озерной равнине, а затем по горному району (северная часть Восточно-Сибирского плоскогорья). Для этого участка характерно чередование широких (350- 400 м) и глубоких (до 4- 5 м) плёсов с порожистыми участками с глубинами до $0,2-0,5 \text{ м}$, обусловленных, как правило, дайками или массивами изверженных пород – траппов. Скорости течения на плёсах не превышают $0,2-0,6 \text{ м/с}$, увеличиваясь на порогах и перекатах до $3-4,5 \text{ м/с}$. Продольные уклоны изменяются от 80-85 до 11-18 см/км.

В пределах Вилюйского водохранилища река Вилюй представляет озеровидное расширение, местами до 10 км.

На среднем участке до села Сунтар речная долина также носит горный характер, ниже долина расширяется и течение становится спокойным. Здесь ширина русла достигает 200-600 м, скорости течения снижаются (на плёсах – $0,2-1,3 \text{ м/с}$, на перекатах – $1,3-2,2 \text{ м/с}$), островов мало. Глубины на плёсах – от 1,5 м до 8,5 м. На всем участке имеется только один порог – Соколиный (у села Крестях, в 883 км от устья), представляющий собой каменистую гряду направленную почти перпендикулярно к течению. Речная долина имеет ширину до 10 км с высотой коренных берегов над уровнем реки до 150 м.

На нижнем участке русло реки Вилюй неустойчивое: ширина его изменяется от 300 м до 2,5 км, имеются песчаные острова, косы и отмели.

Скорости течения на плёсах 1,0-1, 5 м/с и на перекатах – 1,9-2,2 м/с. Продольные уклоны составляют 4-24 см/км. Грунты русла преимущественно песчаные.

В бассейне реки имеются мощные выходы высокоминерализованных подземных вод.

На реке Вилюй в 1967 году построен Каскад Вилюйских ГЭС. Для обеспечения его работы создано Вилюйское водохранилище с многолетним регулированием речного стока [2].

Притоки

Река Чона – наиболее крупный правый приток реки Вилюй на верхнем участке. Длина реки 802 км, площадь бассейна 40600 км².

Река Марха впадает в Вилюй слева на 530 километре от устья. Длина реки 1181 км, площадь бассейна 99000 км². В верховьях реки располагается ряд озер, приуроченных к низинам, окруженным возвышенностями с абсолютной высотой до 700 м.

Река Тюнг – левый приток Вилюя. Впадает в Вилюй на 322 километре от устья. Длина реки 1092 км, площадь бассейна 49700 км², общее падение 344 м.

Питание реки и водный режим

Питание реки в основном снеговое, его доля составляет в годовом стоке составляет более 60 %, на дождевое приходится до 30 % и на долю подземных вод – около 10 %. Характерным для нее является высокое, однопиковое весеннее половодье, которое сглаживается в среднем и нижнем течении в следствии регулирования стока Вилюйским водохранилищем. На нижнем участке водный режим реки, наряду с ГЭС, в значительной мере определяется ее притоками – реками Марха и Тюнг.

Создание Вилюйского водохранилища привело к значительным изменениям в водном режиме реки:

- внутригодовое распределение стока стало более равномерным: наблюдается снижение весенних максимумов и повышения водности реки в зимнюю межень;

- весеннее половодье проходит двумя волнами, первая – при вскрытии реки, вторая – при сбросах воды с водохранилища для нужд судоходства;

- максимальный расход воды наблюдается не после очищения реки ото льда, а в период прохождения весеннего ледохода и в большинстве случаев имеет заторное происхождение;

- наименьший сток на реке наблюдается не в период зимней межени, а в конце теплого периода года перед началом зимних похолоданий в октябре – начале ноября;

- зимние сбросы воды с водохранилища формируют в нижнем бьефе техногенные наледи и полыньи.

Ледовый режим

Регулирование стока реки Вилюй повлияло на сроки образования и разрушения ледяного покрова: на среднем участке первые ледяные явления появляются в начале третьей пентады октября, что на неделю позже по сравнению с естественными условиями, весенний ледоход – в конце второй пентады мая (раньше на 3 дня); в низовьях весенний ледоход наблюдается в начале пятой пентады мая (на 3 дня позже). Изменение сроков на среднем участке объясняется сбросом в нижний бьеф более теплых вод с водохранилища, в нижнем течении – увеличением массы льда на реке.

Сплошной ледяной покров устанавливается на плесовых участках реки обычно в четвертой и пятой пентаде октября. Наиболее рано ледостав установился на всем протяжении Вилюя в 1957 г. В середине первой декады октября, наиболее поздно – в начале первой декады ноября в 1967 г.

В конце зимней межени лед достигает наибольшей величины. Толщина ледяного покрова у устья колеблется от 114 см до 146 см. В наиболее

малоснежные годы, например, в 1956 г. отмечена толщина льда 202 см. В многоснежные, теплые зимы толщина льда не превышает 70-88 см.

Режим наносов

Верховья реки Виллой относятся к зоне малой мутности воды (менее 25 г/м³) из-за широкого распространения здесь трудноразмываемых известняков, покрытых траппами. Низовья реки характеризуются более высокой мутностью (25-50 г/ м³), чему способствует преобладание высокоразмываемых песчаных почвогрунтов. Как правило, наибольшая часть твердого стока выносится в период весеннего половодья (от 70 до 90 % годового стока).

Качество речных вод

Воды реки Виллой и его притоков без запаха, гидрокарбонатного класса, кальциевой группы, малой минерализации. В период весеннего половодья и дождевых паводков вода в верховьях очень мягкая, в низовьях – мягкая, в зимнюю межень чаще всего мягкая на всем протяжении реки. Кислородный режим в пределах нормы: концентрация растворенного в воде кислорода составляет 7,11-13,4 мг/л. Из загрязняющих веществ доминируют фенолы, соединения цинка, меди, железа и органические вещества.

Высокое содержание фенолов в речных водах объясняется влиянием затопленной древесины на дне Виллойского водохранилища, меди, цинка и железа – естественными процессами, связанными со смывом нарушенного почвенного покрова и подстилающих пород, водной эрозией, химическим составом подземных вод, питающих реку Виллой и его притоки, т.е. влиянием природных факторов.

Флора и ихтиофауна

Флора речных вод бассейна реки Виллой относительно небогата и представлена 217 видами и разновидностями водорослей. В озерах обнаружено

428 видов и разновидностей. Преобладают по числу видов зеленые, диатомовые, сине-зеленые и эвгленовые водоросли.

В реке Вилюй представлены более десятка видов рыб, такие как: минога сибирская (вьюн), осетр сибирский (хатыс), таймень, ленок, нельма, пелядь (баранатка), чир, сиг-пыжьян, муксун, тугун и другие.

2.2 Характеристика Вилюйского гидроузла

Каскад гидротехнических сооружений на реке Вилюй включает два гидроузла с водохранилищами и ГЭС:

- верхний гидроузел, в состав сооружений которого входит каменно-земляная плотина в 1348 км от устья реки Вилюй, водосброс и две гидроэлектростанции – Вилюйская ГЭС-1 и Вилюйская ГЭС-2 с установленной мощностью 640 МВт каждая (ВГЭС-1 введена в эксплуатацию в 1967 г., ВГЭС-2 – в 1976 г.);

- нижний гидроузел с плотиной в 1206,8 км от устья реки Вилюй, напорный фронт гидроузла состоит из правобережной и левобережной каменно-земляных плотин и центральной бетонной плотины в русловой части реки, где размещается здание Вилюйской ГЭС-3 (Светлинской ГЭС), корпус управления и глубинный водосброс, проектная мощность ГЭС в 4-х агрегатах – 360 МВт.

Наполнение водохранилища Вилюйских гидроэлектростанций 1,2 начато в мае 1967 года, отметка нормального подпорного уровня 244,00 м была достигнута в июле 1973 года. В процессе составления проекта Светлинской гидроэлектростанции было принято решение о подъеме нормального подпорного уровня Вилюйского водохранилища с отметки 244,00 м до 246,00 м. Отметка повышенного нормального подпорного уровня 246,00 м была достигнута в июле 1978 года, расчетная отметка форсированного подпорного уровня осталась прежней 249,00 м. В настоящее время Светлинское водохранилище наполнено до отметки уровня воды 174,30 м.

В 1988-91 годах в бассейне реки Вилюй был зафиксирован самый длительный многоводный период в 84-летнем ряду наблюдений за стоком со средним расходом притока в Вилюйское водохранилище в 1,5 раза выше среднемноголетнего. Уровень Вилюйского водохранилища поднимался до отметок 247,00-247,50 м. В результате сброса высоких расходов (до 3500-4000 м³/с) и длительного устойчивого подъема уровней нижнего бьефа произошло растепление грунтов основания плотины, вследствие чего произошли осадки плотины.

В 1990 году в гребневой части плотины со стороны нижнего бьефа образовалась продольная трещина с раскрытием 2-3 см длиной около 400 м и организацией ОАО «Ленгидропроект» были установлены ограничения на величину форсировки уровня верхнего бьефа до отметки 246,80 м.

Причинами ограничения предельного уровня верхнего бьефа отметкой 246,80 м являются:

- растепление основания и низовой призмы плотины, осадки гребня плотины и гребня ядра при прохождении высоких расходов;
- появление на гребне плотины со стороны нижнего бьефа продольной трещины;
- отметка верха ядра плотины, по показаниям разведочных скважин, находится ниже проектной;
- выявлена обходная фильтрация в правобережном примыкании к водосбросу с образованием наледей.

После проведения в 1997 году цементации основания в примыкании к водосбросу в пределах зоны растепления, фильтрация уменьшилась, но не исключила полностью образования наледей.

Ограничение максимальной отметки подъема уровня Вилюйских водохранилищ 1,2 отметкой 246,80 м потребовало выполнения расчета обоснования перехода на щадящий режим эксплуатации сооружений гидроузла каскада Вилюйских гидроэлектростанций с понижением отметки наполнения водохранилища до 244,00 м [3].

Морфометрические характеристики водохранилищ ВГЭС-1,2 и ВГЭС-3 приводятся в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Морфометрические характеристики водохранилищ ВГЭС-1,2 и ВГЭС-3

| Длина при НПУ, км | Ширина <u>макс.</u> сред., км | Глубина <u>макс.</u> сред., м | Площадь зеркала при НПУ, км ² | Объем при НПУ, км ³ |
|------------------------|--|--|--|--------------------------------|
| водохранилище ВГЭС-1,2 | | | | |
| 440,00 | <u>18,00</u> 5,76 | <u>70,00</u> 17,30 | 2360 | 40,41 |
| водохранилище ВГЭС-3 | | | | |
| 141,20 | <u>1,50</u> 0,74 | <u>32,00</u> 12,00 | 104 | 1,126 |

Основные рабочие параметры Вилюйских водохранилищ приводятся в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Основные рабочие параметры Вилюйских водохранилищ

| Основные параметры | Единицы измерения | Водохранилище | | |
|---|-------------------|---------------|--------|--------|
| | | ВГЭС-1,2 | | ВГЭС-3 |
| | | БС | СГ | БС |
| 1) Отметка нормального подпорного уровня (НПУ) | м | 245,30 | 246,00 | 181,00 |
| 2) Отметка предельной сработки (УМО) | м | 233,30 | 234,00 | 179,00 |
| 3) Отметка форсированного уровня (ФПУ) | м | 246,60 | 247,30 | 181,00 |
| 4) Отметка обязательной предполоводной сработки | м | 238,30 | 239,00 | — |
| 5) Площадь зеркала: | | | | |
| при НПУ | км ² | | 2360 | 104,0 |
| при УМО | км ² | | 1430 | 93,8 |
| 6) Объем полный: | | | | |
| при НПУ | км ³ | | 40,41 | 1,126 |
| при УМО | км ³ | | 18,05 | 0,931 |
| полезный | км ³ | | 22,36 | 0,195 |

Краткая характеристика гидротехнических сооружений

Основные гидротехнические сооружения Вилюйской ГЭС-1,2 по были отнесены ко II классу, гидротехнические сооружения Вилюйской ГЭС-3 также относятся ко II классу. Компонировка гидроузла Вилюйской ГЭС-3 обусловлена сложными климатическими и геокриологическими условиями створа. Борта долины сложены вечномерзлыми породами, имеющими льдистость местами до 40%. Схема расположения водохранилищ и ГЭС на реке Вилюй представлена на рисунке 2.2.

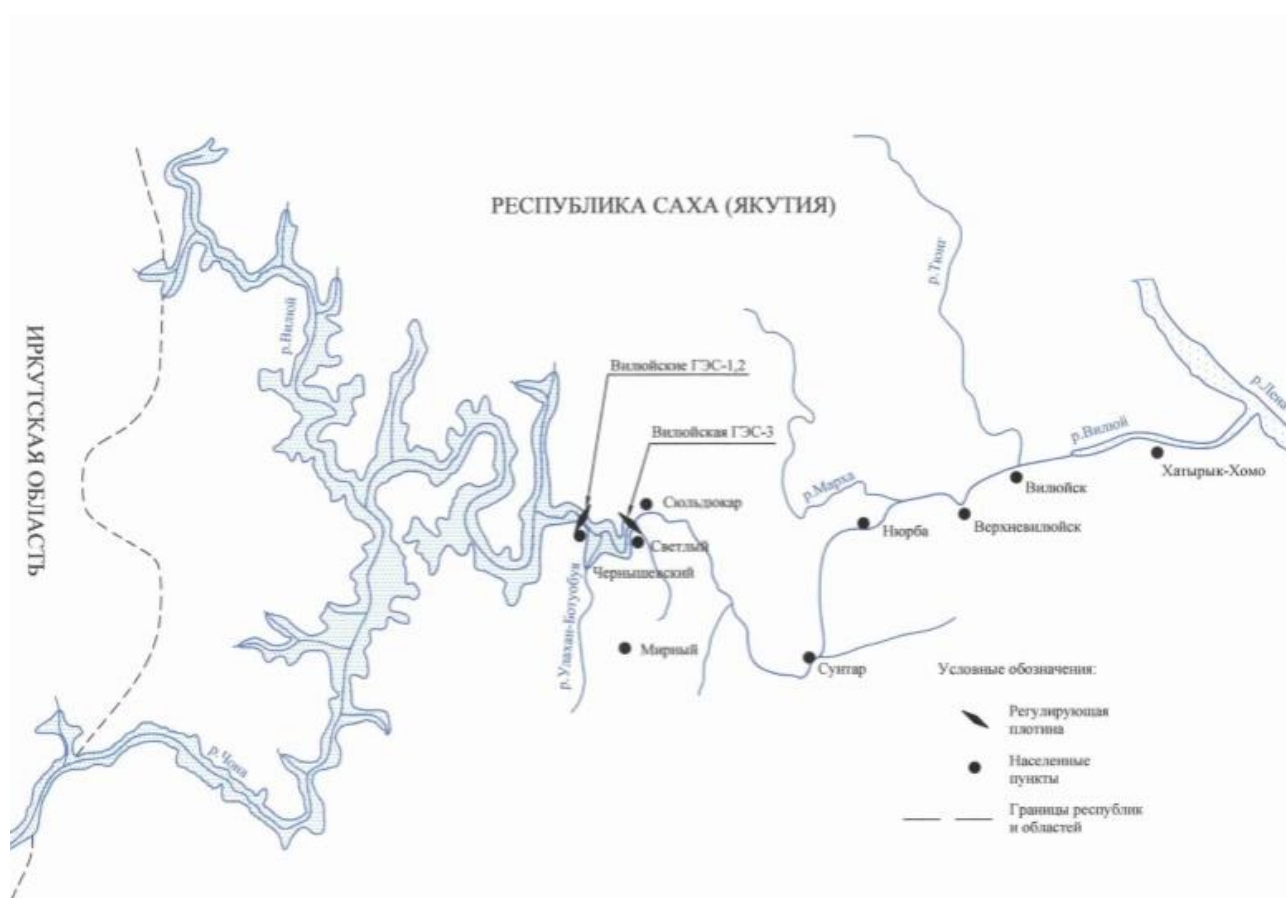


Рисунок 2.2 – Схема расположения водохранилищ и ГЭС на реке Вилюй

Каменно-земляная плотина Вилюйских водохранилищ имеет длину около 600 м, максимальную высоту 75 м, ширину по гребню около 8,8 м с проезжей частью шириной 7,0 м. Плотина имеет криволинейное очертание в плане. С верхней стороны на гребне плотины установлен сплошной железобетонный

парапет высотой 1,5 м. Вдоль низовой бровки гребня - бордюрные тумбы ограждения. В качестве противодиффузионного элемента в теле плотины предусмотрен наклонный экран из щебенисто-дресвяного суглинка, в верхней части переходящий в вертикальное ядро. Основанием тела плотины являются скальные породы-долериты.

Режим работы водохранилищ

Основными водопользователями, в интересах которых осуществляется регулирование стока р. Вилюй водохранилищами ВГЭС-1,2 и 3 является энергетика, водный транспорт и коммунальное хозяйство.

Водохранилище ВГЭС-3 не имеет регулирующей сезонной емкости. Основным регулятором стока для ВГЭС-3 является водохранилище ВГЭС-1,2, которое контролирует 93 % объема поступающего стока. Нерегулируемая боковая приточность (7 % объема) добавляется в основном в летний период (май-сентябрь). Работа ВГЭС-3 предполагается практически синхронной с ВГЭС-1,2 на зарегулированном стоке, с возможностью суточного и недельного регулирования мощности.

Вилюйские ГЭС-1,2 и ГЭС-3 обеспечивают электроэнергией потребителей Западного энергорайона Республики Саха (Якутия), в состав которого входят Мирнинский, Айхало-Удачный, Вилюйский и Ленский энергоузлы.

Вилюйские ГЭС выполняют следующие функции в Западно-Якутском энергорайоне:

- выдача мощности и выработка энергии;
- принятие годовой, недельной и суточной неравномерности нагрузки;
- обеспечение аварийного и нагрузочного резервов.

Энергоотдача каскада ГЭС определяется водными ресурсами реки, запасами воды в водохранилище ВГЭС-1,2 и потребностью местного энергорайона.

Одновременно водные ресурсы водохранилища ВГЭС-1,2 используются для обеспечения судоходных условий. В нижнем бьефе каскада Вилюйских ГЭС на участке реки Вилюй от села Сунтар (447 км ниже ВГЭС-3) до устья в настоящее время, как и в естественных условиях, осуществляется экспедиционное судоходство, использующее половодный период.

Судоходство на водохранилищах ВГЭС-1,2 и 3 из-за отсутствия населенных пунктов не производится.

Основные требования рыбного хозяйства сводятся к следующему: отсутствию сработки на водохранилище ГЭС-1,2 в течение летне-осеннего периода (июнь-октябрь), что обеспечивает оптимальные условия для нереста и развития молоди карповых рыб, которые преобладают в ихтиофауне.

Требования коммунального хозяйства направлены на поддержание устойчивого режима уровней воды в нижнем бьефе в зимний период с целью сохранения условий водоснабжения населенных пунктов, а также ледовых переправ у с. Сюльдюкар и на участке с. Сунтар – Нюрба [4].

2.3 Исходная информация

Исходными данными для выполнения исследования являются естественные средние месячные расходы воды в створе реки Вилюй – посёлок Чернышевский. Период наблюдений 81 год: с 1926/27 водохозяйственного года по 2006/07. Так как данный пост был открыт в 1959 году, предшествующие этому 33 года наблюдений были восстановлены через корреляционную связь с гидрологическим постом река Вилюй – село Сунтар.

Река Вилюй – село Сунтар

Станция расположена в селе Сунтар (рисунок 2.3), в 3,5 км выше впадения реки Кэмпэндээйи, был открыт 19 мая 1926 г.

Долина реки слабо пересечена ручьями, изобилует пойменными озерами, местами заболочена. Русло реки на участке станции слабоизогнутое. Пойма

правобережная, шириной до 3 км, расположена внутри излучины. Правый берег пологий, высотой 7-8 м (над меженным уровнем), имеет пойму шириной до 100 м, затопляемую при уровнях выше 1075 см. Пойма поросла кустарником и хвойным лесом. Левый берег крутой, обрывистый высотой до 15 м, незатопляемый. Русло сложено песчано-галечными грунтами, устойчивое. В начале зимы на участке станции, в 50 и 200 м выше водомерного поста, обычно образуются полыньи.

В 17 км ниже водомерного поста образуются заторы льда и зажоры, в створе поста – полыньи.

Основной водомерный пост находится на левом берегу, состоит из свай и основного репера с отметкой 126,017 м БС. Отметка нуля графика 109,35 м БС.

В 1,89 км выше и 1,4 км ниже основного водомерного поста расположены уклонные посты.

Гидрологический створ №1 (летний) совпадает со створом основного водомерного поста; гидрологический створ №2 (зимний) расположен в створе верхнего уклонного водомерного поста.

В 1919-1921 годах в этом же пункте действовал пост, материалы наблюдений которого за 1919 год не обработаны, за 1920 и 1921 годы не найдены.

Река Вилюй – посёлок Чернышевский

Пост расположен в посёлке Чернышевский, в 2,4 км ниже плотины, был открыт 23 сентября 1959 г., 29 апреля 1965 г. – в створе Вилюйского водохранилища на 380 м выше плотины.

Долина корытообразной формы. Склоны долины: правый – умеренно крутой, левый – пологий, сложены песком и валунами, покрыты густым лесом.

Русло реки на участке поста корытообразное, сложено валунами, булыжниками с небольшим заполнением гальки и гравия, устойчивое. По берегам выше и ниже водомерного поста выходят скальные породы. В 3 км ниже водомерного поста находится порог Безымянный.

Высота нуля графика 175,00 м БС.

Нижний уклонный пост расположен 840 м ниже, верхний – 1 км выше водомерного поста.

Гидрологический створ № 3 совпадает с водомерным постом; гидрологический створ № 4 – 2,0 км выше водомерного поста, оборудованы тросочно – лодочной переправой.

До 1 января 1964 г. наблюдения производились в створе водомерного поста № 2, расположенного в 900 м ниже действующего. Перенос водомерного поста № 2 вызван тем, что данный пост оказался в зоне работ строительства ГЭС [5].

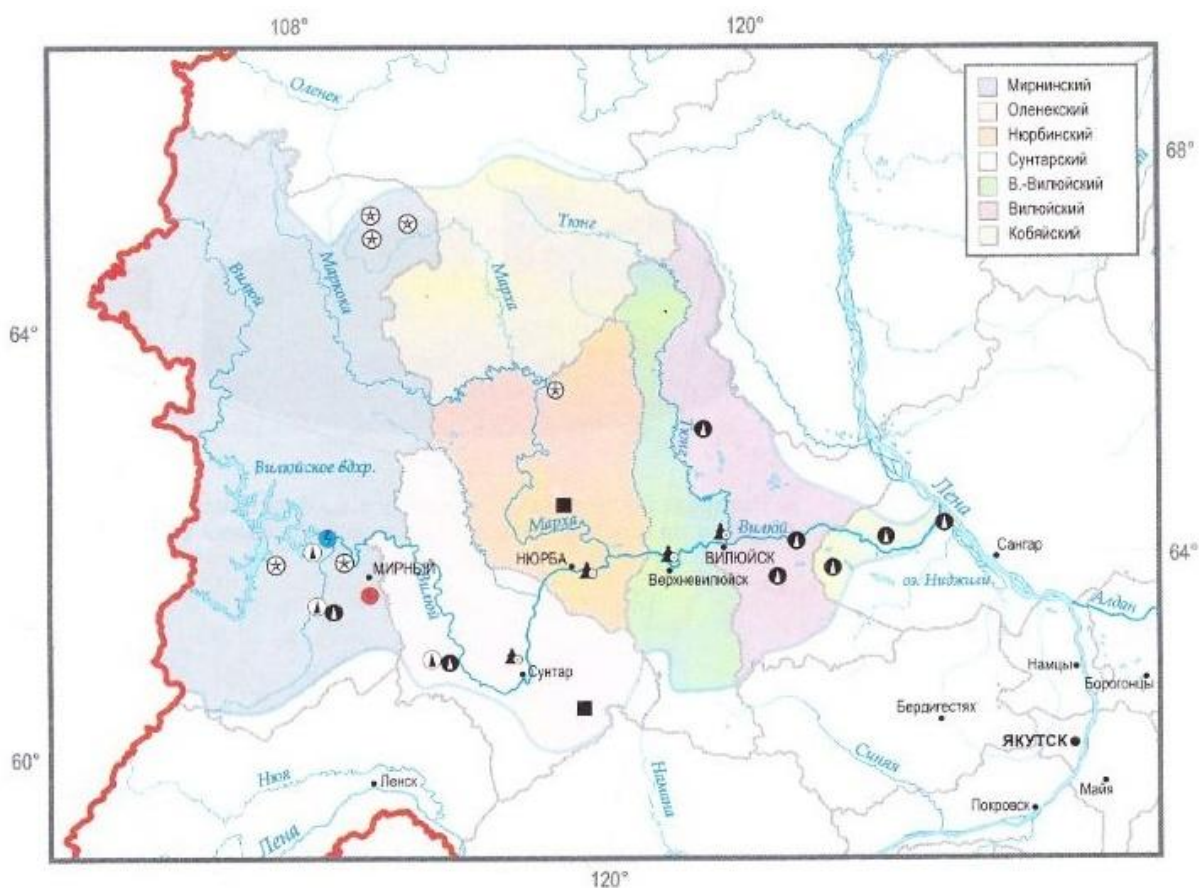


Рисунок 2.3 – Река Вилюй – село Сунтар

3 Особенности водного режима реки Вилюй в створе гидроузла

3.1 Закономерности внутригодового распределения стока

Питание реки Вилюй смешанное, с преобладанием снегового. Грунтовое питание, вследствие повсеместного распространения многолетней мерзлоты, незначительное. Водный режим характеризуется высоким весенним половодьем, систематическими летне-осенними паводками и низким стоком зимой. Около 95-99 % годового стока проходит в тёплую часть года, преимущественно в период весеннего половодья (до 80 %), которое продолжается, в среднем, два-три месяца. Максимальные расходы воды дождевых паводков ниже весенних максимумов. Зимняя межень продолжается семь месяцев и значительно глубже летней межени. Для оценки внутригодового распределения стока реки Вилюй, были взяты пятилетние ряды, в которые вошли годы различной водности (маловодный, средний по водности и многоводный периоды). Также внутригодовое распределение стока было рассчитано по средним месячным расходам воды в многолетней разрезке. Результаты расчетов сведены в таблицу 3.1, информация в таблице дана по месяцам и по сезонам, которые были сформированы в связи с долей от годового стока за определенные месяцы.

Сток на реке Вилюй внутри года распределяется неравномерно. Диаграмма внутригодового распределения стока в многолетней разрезке представлена на рисунке 3.1. Проанализировав таблицу 3.1 и рисунки 3.1 и 3.2, видно, что 75-85 % годового притока приходится на период весеннего половодья (май-июль), 13-20 % - на период летне-осенней межени (август-октябрь) и 1-1,5 % - на зимнюю межень (ноябрь-апрель).

Таблица 3.1 – Внутригодовое распределение стока на реке Вилюй – поселок Чернышевский

| Период | Месяцы | | | | | | | | | | | | Год | Сезоны | | |
|----------------------------------|--------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|--------|------------|------|
| | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | I | II | III | IV | | Весна | Лето-осень | Зима |
| Маловодный | 36,7 | 35,1 | 13,2 | 4,44 | 6,77 | 2,49 | 0,74 | 0,24 | 0,09 | 0,07 | 0,05 | 0,06 | 100 | 85,1 | 13,7 | 1,25 |
| Средний по водности | 26,4 | 41,5 | 9,3 | 10,30 | 8,56 | 2,81 | 0,60 | 0,21 | 0,09 | 0,06 | 0,04 | 0,07 | 100 | 77,3 | 21,7 | 1,07 |
| Многоводный | 25,3 | 42,7 | 13,4 | 5,73 | 9,00 | 2,86 | 0,53 | 0,19 | 0,08 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 100 | 81,4 | 17,6 | 1,01 |
| Средний за весь расчётный период | 34,4 | 38,2 | 10,2 | 6,13 | 7,14 | 2,83 | 0,59 | 0,21 | 0,08 | 0,05 | 0,04 | 0,09 | 100 | 82,8 | 16,1 | 1,05 |

Проанализировав характер внутригодового распределения стока реки Вилюй в различные периоды водности, можно сделать вывод о том, что распределение стока внутри года практически не зависит от периода водности, отличие имеется только в период пониженной водности. Повышенная доля стока от годового приходится на время весеннего половодья после наступает резкое снижение стока в летне-осенний период. Период межени в маловодном периоде более выражен, чем в остальных. Остальные периоды водности можно охарактеризовать так: весенний период наиболее выражен, далее следует летне-осенняя межень, в которой присутствует шлейф от весеннего половодья, в период зимней межени доля стока от годового очень мала. Диаграмма распределения стока внутри года с учетом водности представлена на рисунке 3.2.

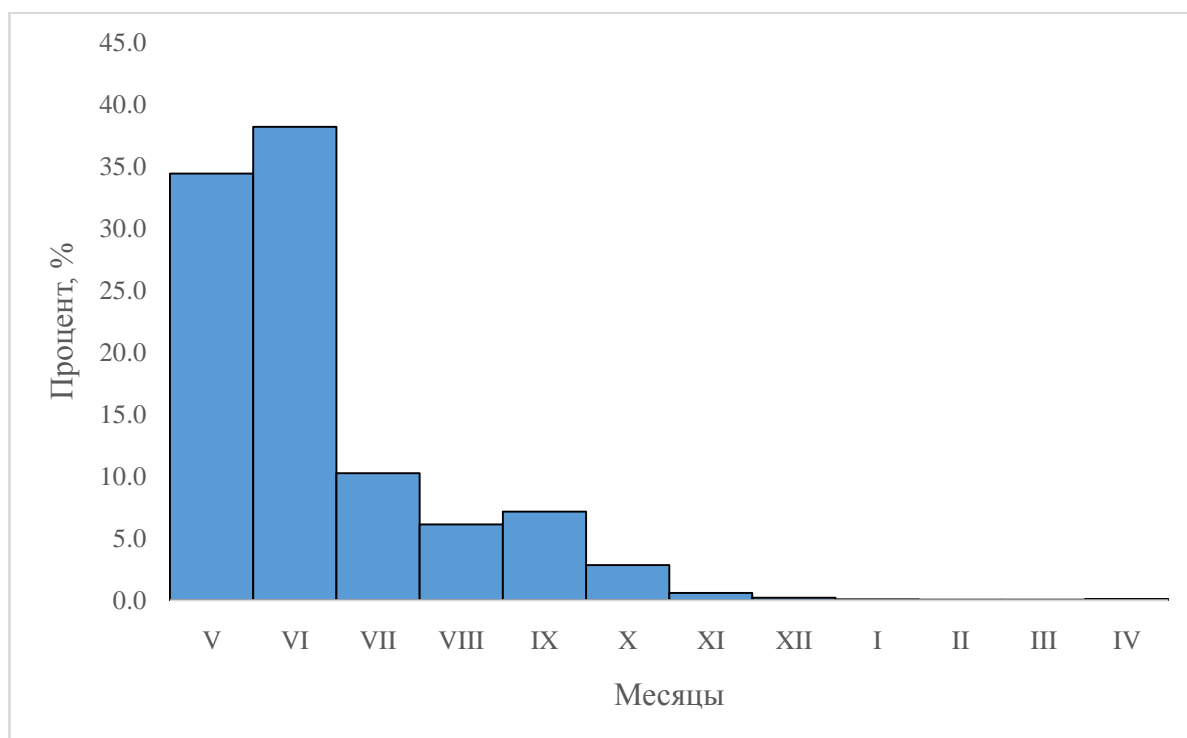


Рисунок 3.1 – Внутригодовое распределение стока на реке Вилюй – пос. Чернышевский

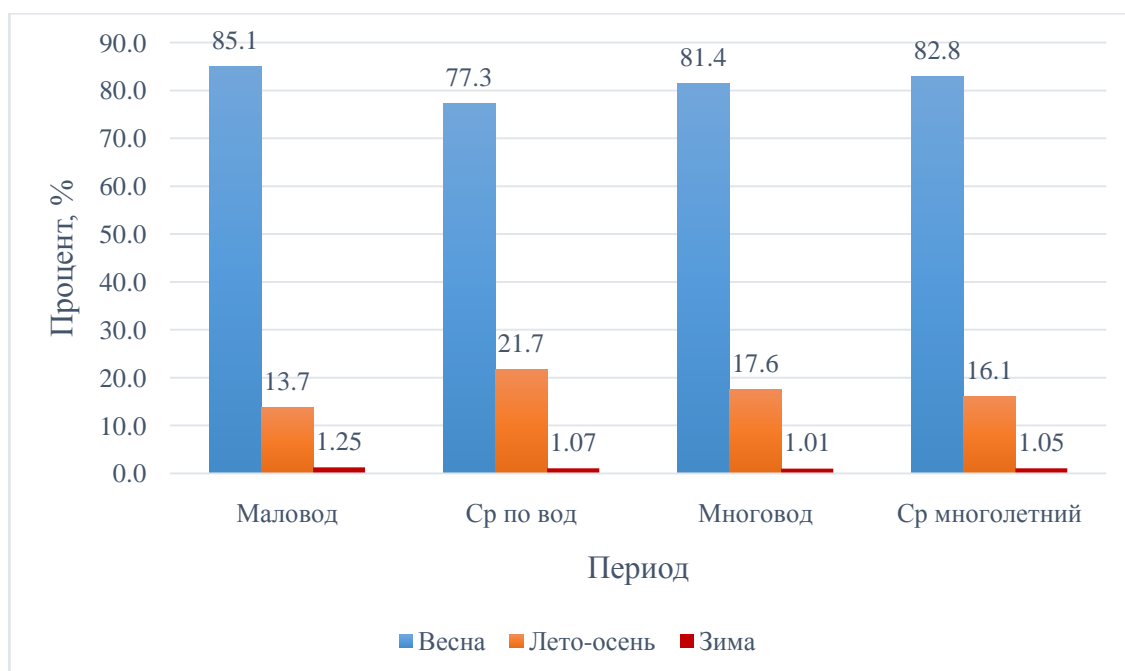


Рисунок 3.2 – Внутригодовое распределение стока на реке Виллой – пос. Чернышевский для периодов различной водности

Результатом анализа внутригодового распределения стока на реке Виллой было составление рядов для дальнейших расчетов. Ряды были разбиты по сезонам: период половодья: май-июль, летне-осенняя межень: август-октябрь и зимняя межень: ноябрь-апрель. Было принято определить временные рамки периода межени по средней многолетней норме стока ($659 \text{ м}^3/\text{с}$). Межень в жестких границах, то есть весь расход воды, меньший нормы, входит в период межени.

3.2 Закономерности многолетних колебаний стока

Далее были произведены исследования многолетних колебаний речного стока, которые показали, что они происходят с заметно выраженным группированием лет различной водности.

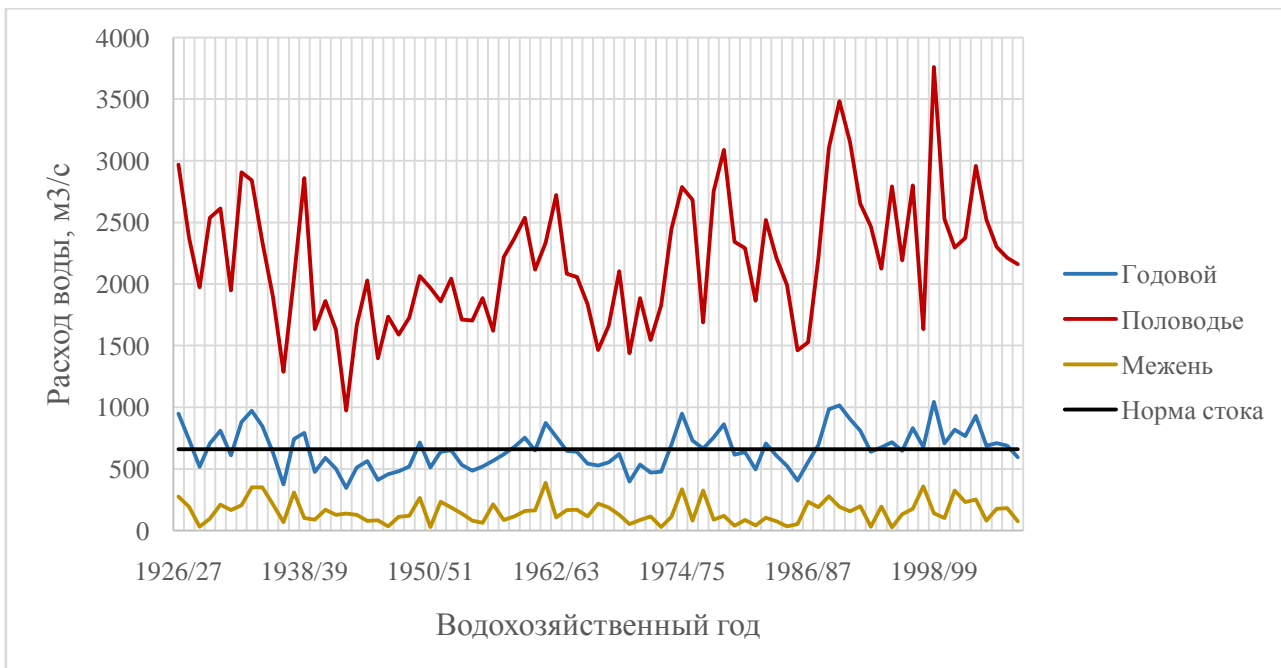


Рисунок 3.3 – Совмещенный хронологический график годового стока, стока за период половодья и межени на реке Вилюй – пос. Чернышевский

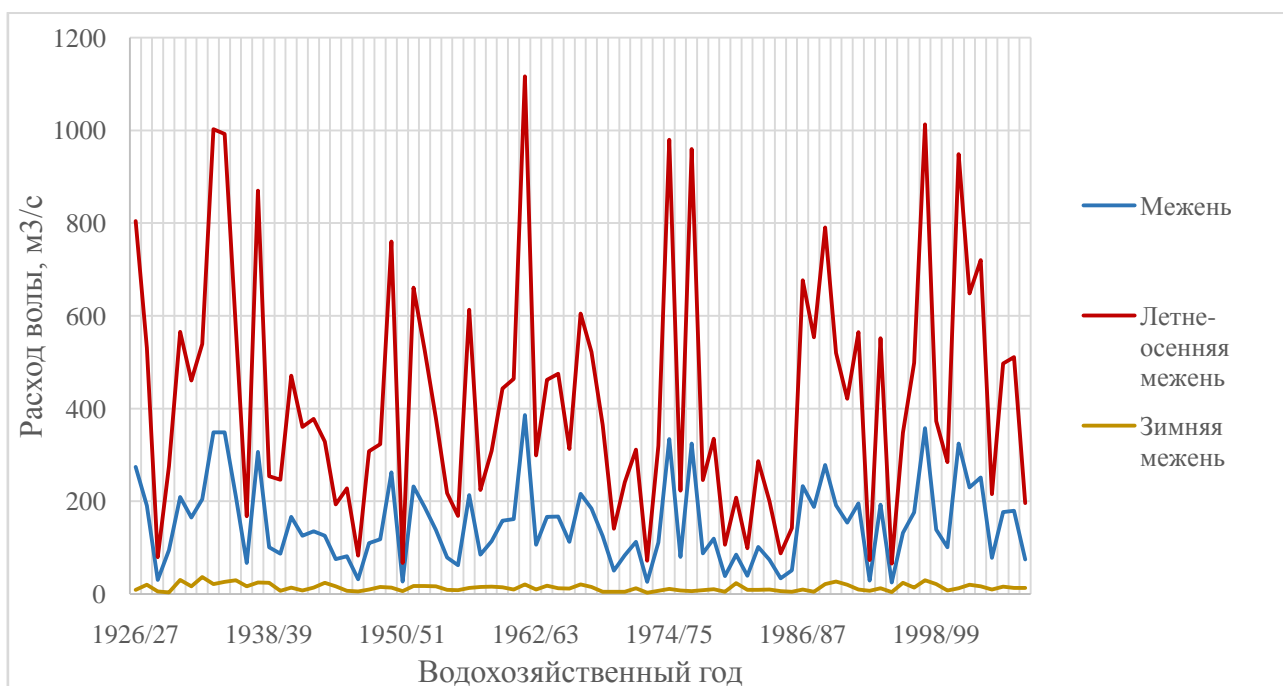


Рисунок 3.4 – Совмещенный хронологический график за меженный период, период летне-осенней и зимней межени на реке Вилюй – пос. Чернышевский

Анализ многолетних колебаний был проведен по хронологическим графикам, построенным по многолетним рядам годового стока, стока за период половодья и период межени. Совмещенный график представлен на рисунке 3.3.

На рисунке 3.4 представлен совмещенный хронологический график меженного периода, где межень разделена на две части.

Также в работе использован один из наиболее распространенных методов – нормированные интегрально-разностные кривые стока. Интегрально-разностные кривые построены для годового стока реки Вилюй, также отдельно для стока периода половодья и меженного периода, они представлены на рисунках 3.5 – 3.9. Этот метод является наглядным и позволяет достаточно объективно выявить длиннопериодные циклические колебания и определить их параметры [6].



Рисунок 3.5 – Интегрально-разностная кривая годового стока на реке Вилюй – пос. Чернышевский

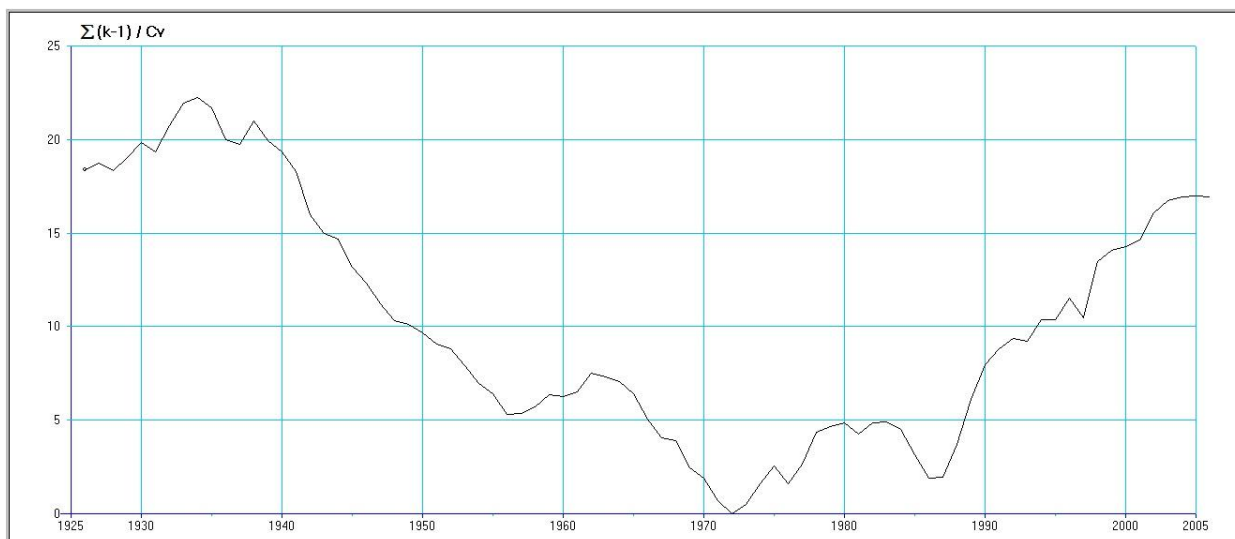


Рисунок 3.6 – Интегрально-разностная кривая стока за период половодья на реке Вилюй – пос. Чернышевский

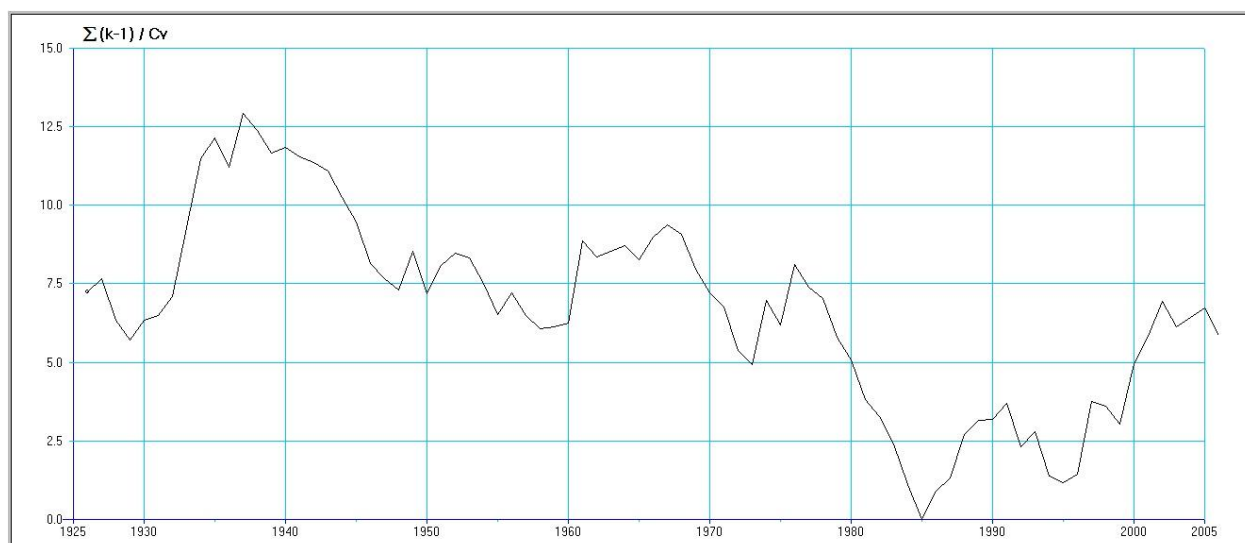


Рисунок 3.7 – Интегрально-разностная кривая стока за период межени на реке Вилюй – пос. Чернышевский

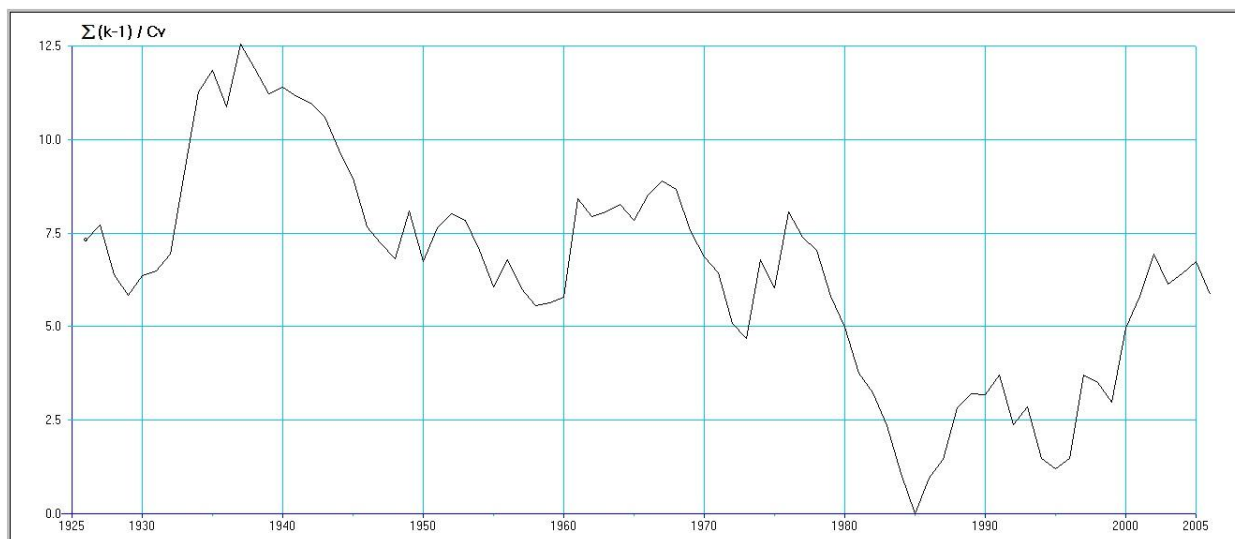


Рисунок 3.8 – Интегрально-разностная кривая стока за период летне-осенней межени на реке Виллой – пос. Чернышевский



Рисунок 3.9 – Интегрально-разностная кривая стока за период зимней межени на реке Виллой – пос. Чернышевский

Анализ интегрально-разностной кривой годового стока показал, что длительный период пониженной водности, то есть маловодный, начинается с 1936/37 водохозяйственного года и продолжается до 1971/72. Этот период прерывается периодом повышенной водности: с 1957/58 по 1961/62 годы. Далее

маловодный период сменяется средним по водности периодом с 1972/73 по 1986/87 годы. После, этот период сменяется многоводным в 1987/88 водохозяйственном году, то есть периодом повышенной водности.

Проанализировав рисунки 3.5 и 3.6, можно сделать вывод, что многолетние колебания годового и весеннего стока хорошо соответствуют друг другу. Прежде всего это определено большим вкладом стока весеннего половодья во внутригодовое распределение стока.

В свою очередь интегрально-разностная кривая стока за период межени (рисунок 3.7) отличается от кривой годового стока. Маловодный период начинается с 1936/37 водохозяйственного года и продолжается до 1986/87. Внутри маловодного периода можно выделить средний по водности: с 1948/49 по 1976/77 годы. Многоводный период начинается в 1987/88 водохозяйственном году, сменяется периодом пониженной водности: 1990/91 по 1995/96 годы, далее вновь продолжается период повышенной водности.

Проанализировав рисунки 3.7 и 3.8, стоит заметить, что интегрально-разностная кривая стока за летне-осенний период полностью дублирует кривую за меженный период, это говорит о том, что сток за период межени определяется стоком за летне-осенний период, что подтверждается и хронологическим графиком.

Сток за период зимней межени (рисунок 3.9) является самостоятельной характеристикой, это подтверждается его минимальной величиной и характером колебания. Анализируя интегрально-разностную кривую стока за период зимней межени, можно сделать вывод, что продолжительность периода пониженной водности существенно отличается от продолжительности этого периода в других кривых: она значительно короче (1968/69 - 1986/87 годы). До маловодного периода наблюдается длительный период средний по водности: с 1936/37 водохозяйственного года и продолжается до 1967/68. Маловодный период сменяется периодом повышенной водности в 1987/88 водохозяйственном году, внутри которого наблюдается период пониженной водности с 1990/91 по 1994/95 годы.

3.3 Статистическая характеристика рядов и расчетные значения стока

Согласно своду правил по проектированию и строительству определение расчетных характеристик следует производить по однородным рядам наблюдений [7]. Оценку однородности рядов гидрологических наблюдений осуществляют на основе генетического и статистического анализов исходных данных наблюдений. Для количественной оценки статистической однородности применяют критерии резко отклоняющихся экстремальных значений в эмпирическом распределении (критерии Смирнова-Граббса и Диксона), критерии однородности выборочных дисперсий (критерий Фишера) и выборочных средних (критерий Стьюдента). Так как в рядах наблюдений не имеется резко отклоняющихся точек, количественная оценка по критериям Смирнова-Граббса и Диксона не производилась. Была выполнена проверка всех рядов на однородность с использованием критериев Фишера и Стьюдента [8]. Проверка рядов была выполнена для двух случаев разделения ряда. В первом случае ряды были разделены пополам, во втором – с учетом даты смены периодов различной водности. Результаты сведены в таблицы 3.2 и 3.3.

Таблица 3.2 – Результаты проверки на однородность рядов стока реки Вилюй – пос. Чернышевский при делении ряда пополам (уровень значимости $\alpha = 5 \%$)

| Гидрологическая характеристика. Расход воды | Дата деления ряда | Критерий | | | | Результат |
|--|-------------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-----------|
| | | Стьюдент | | Фишер | | |
| | | эмпири- ческое | крити- ческое | эмпири- ческое | крити- ческое | |
| Годовой | 1926-1965/ 1965-2006 | 1,72 | 5,43 | 1,12 | 2,01 | однороден |
| Весеннее половодье | 1926-1965/ 1965-2006 | 2,35 | 4,46 | 1,50 | 1,90 | однороден |
| Межень | 1926-1965/ 1965-2006 | 0,58 | 1,95 | 1,06 | 1,73 | однороден |

Продолжение таблицы 3.2

| Гидрологическая характеристика. Расход воды | Дата деления ряда | Критерий | | | | Результат |
|--|-------------------------|---------------|-------------|---------------|-------------|-----------|
| | | Стьюдент | | Фишер | | |
| | | эмпири-ческое | критическое | эмпири-ческое | критическое | |
| Летне-осенняя межень | 1926-1965/ 1965-2006 | 0,49 | 1,93 | 1,07 | 1,73 | однороден |
| Зимняя межень | 1926-1965/ 1965-2006 | 2,07 | 2,92 | 1,19 | 1,77 | однороден |

Таблица 3.3 – Результаты проверки на однородность рядов стока реки Виллой – пос. Чернышевский при делении ряда по дате смены периодов водности (уровень значимости $\alpha = 5\%$)

| Гидрологическая характеристика. Расход воды | Дата деления ряда | Критерий | | | | Результат |
|--|-------------------------|---------------|-------------|---------------|-------------|-----------|
| | | Стьюдент | | Фишер | | |
| | | эмпири-ческое | критическое | эмпири-ческое | критическое | |
| Годовой | 1926-1965/ 1965-2006 | 3,38 | 5,43 | 1,08 | 2,02 | однороден |
| Весеннее половодье | 1926-1965/ 1965-2006 | 4,11 | 4,47 | 1,41 | 1,91 | однороден |
| Межень | 1926-1965/ 1965-2006 | 1,47 | 1,95 | 1,03 | 1,74 | однороден |
| Летне-осенняя межень | 1926-1965/ 1965-2006 | 1,47 | 1,93 | 1,03 | 1,74 | однороден |
| Зимняя межень | 1926-1965/ 1965-2006 | 1,16 | 2,92 | 1,02 | 1,78 | однороден |

По результатам таблиц 3.2 и 3.3, можно сделать вывод, что гипотеза об однородности ряда по использованным критериям для двух случаев разделения ряда не опровергается.

Далее был выполнен корреляционный анализ для всех исследуемых рядов, при помощи которого было определено какая взаимосвязь между средним годовым стоком, стоком за период половодья и период межени [7].
Корреляционный анализ в виде матрицы представлен в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Матрица коэффициентов корреляции между стоком за различные сезоны года на реке Вилюй – пос. Чернышевский

| Характеристика | Годовой | Половодье | Межень | Летне-осенняя межень | Зимняя межень |
|----------------------|---------|-----------|--------|----------------------|---------------|
| Годовой | 1,00 | | | | |
| Половодье | 0,91 | 1,00 | | | |
| Межень | 0,57 | 0,18 | 1,00 | | |
| Летне-осенняя межень | 0,57 | 0,17 | 1,00 | 1,00 | |
| Зимняя межень | 0,42 | 0,23 | 0,53 | 0,49 | 1,00 |

Графики связи между стоком за различные сезоны в году и годового стока представлены на рисунках 3.10 – 3.14.

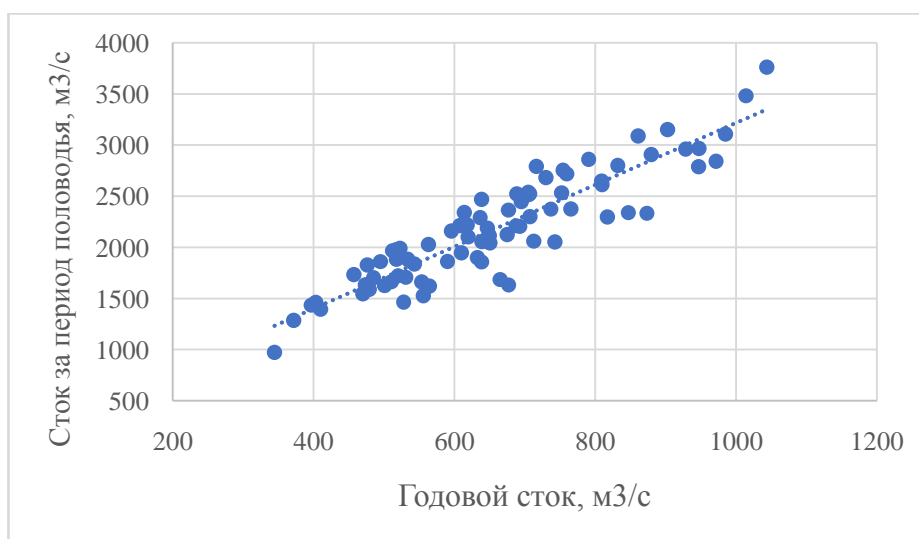


Рисунок 3.10 – График корреляционной связи между годовым стоком и стоком за период половодья

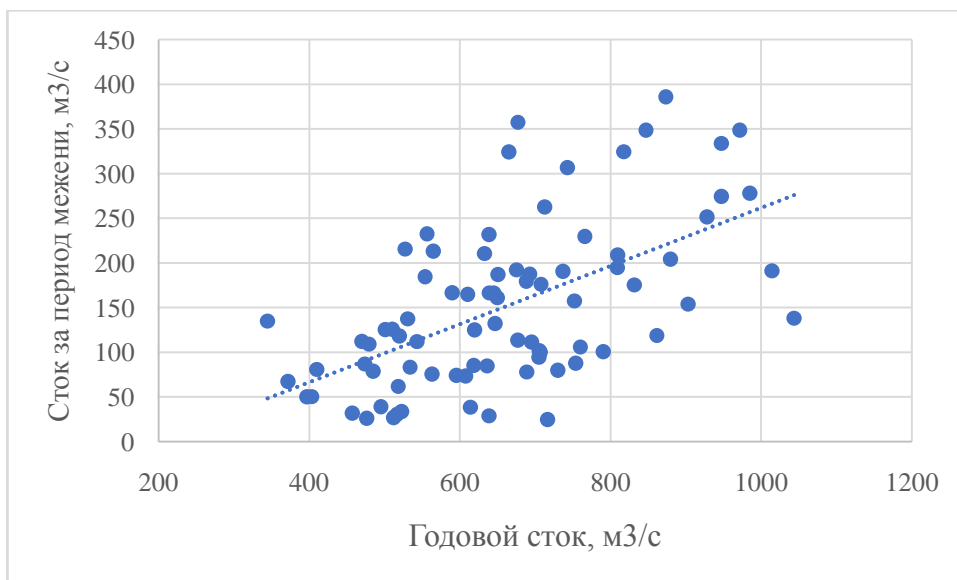


Рисунок 3.11 – График корреляционной связи между годовым стоком и стоком за период межени

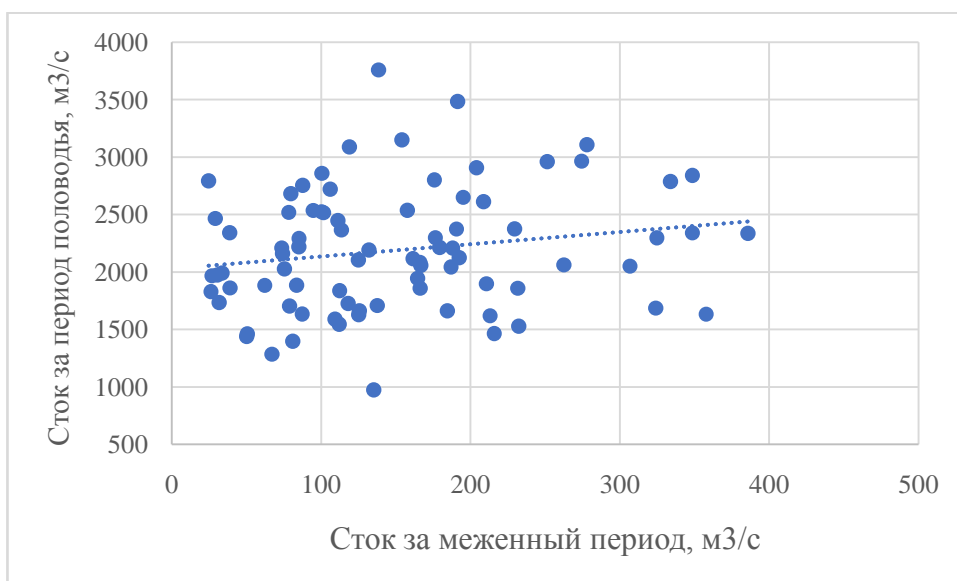


Рисунок 3.12 – График корреляционной связи между стоком за период половодья и меженный период

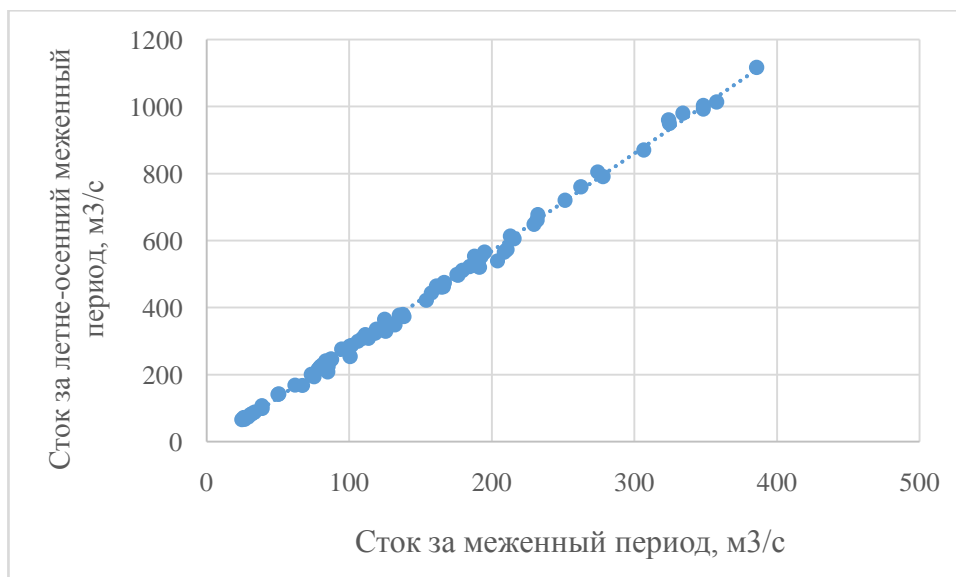


Рисунок 3.13 – График корреляционной связи между стоком за меженный период и период летне-осенней межени

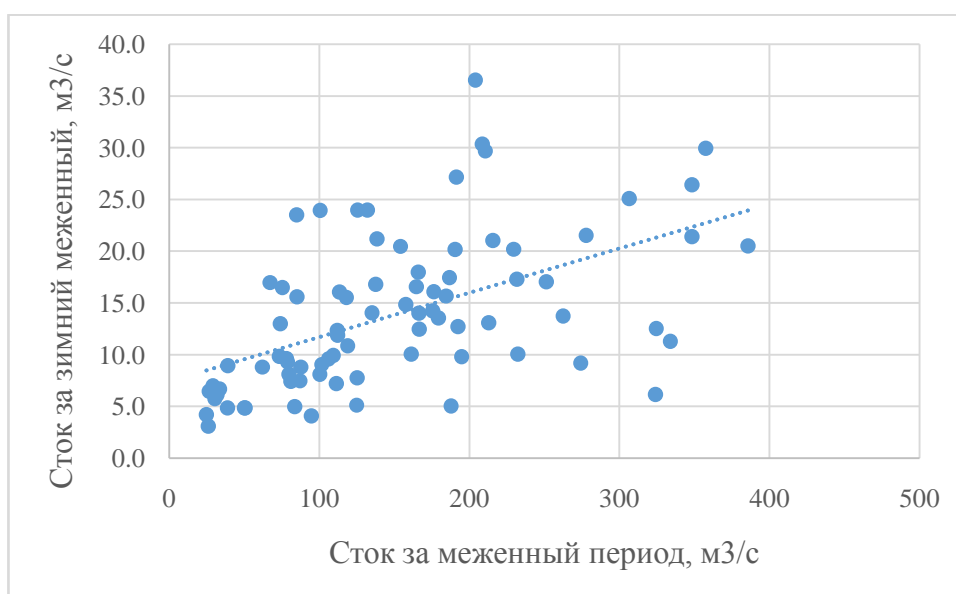


Рисунок 3.14 – График корреляционной связи между стоком за меженный период и период зимней межени

Проанализировав полученные графики, можно сделать вывод, что высокими значениями коэффициентов корреляции характеризуются связи между годовым стоком и стоком в период половодья ($r = 0,91$). Это объясняется

тем, что около 80 % годового объема стока составляет объём воды за период весеннего половодья. Также высокое значение коэффициента корреляции имеет связь между стоком за меженный период и период летне-осенней межени ($r = 1$). Это объясняется тем, что сток за период межени определяется стоком за летне-осенний меженный период. Это подтверждается и низким значением коэффициента корреляции в связи между стоком за меженный период и период зимней межени ($r = 0,53$). В свою очередь коэффициент корреляции между годовым стоком и стоком в период межени составляет $r = 0,57$; между стоком за период половодья и период межени коэффициент корреляции составляет $r = 0,18$, это объясняется неравномерным распределением стока внутри года. Корреляционный анализ рядов полностью подтверждает анализ хронологических графиков и интегрально-разностных кривых стока (п.3.2).

Для дополнительной характеристики внутригодового распределения стока для ряда среднемесячных годовых расходов воды был выполнен автокорреляционный анализ. Результат представлен на рисунке 3.15. Для остальных исследуемых рядов результаты автокорреляционного анализа сведены в таблицу 3.5.

Проанализировав рисунок 3.15, можно сказать, что естественная автокорреляция между членами ряда отражает особенности колебаний стока реки Вилюй. Величина коэффициента $r_{(1)}$ составляет 0,50, это говорит о наличии длительных циклов повышенной и пониженной водности. В условиях формирования серий маловодных n -летий большое значение приобретает многолетнее регулирование стока, для покрытия образовавшегося дефицита.

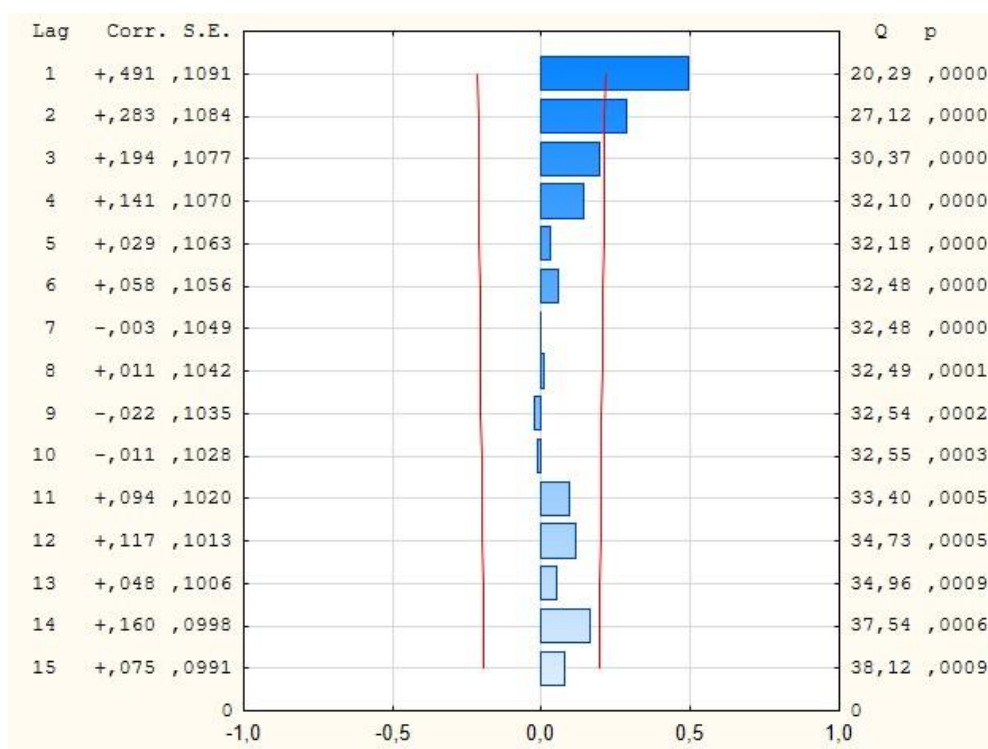


Рисунок 3.15 – Автокорреляционная функция годовых расходов воды на реке Виллой – пос. Чернышевский

3.3.1 Построение и выбор кривых обеспеченности. Назначение обеспеченного расхода.

Определение расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений достаточной продолжительности осуществляют путем применения аналитических функций распределения ежегодных вероятностей превышения – кривых обеспеченностей. Продолжительность периода наблюдений считают достаточной, если рассматриваемый период репрезентативен, а относительная средняя квадратическая погрешность расчетного значения исследуемой гидрологической характеристики не превышает 10 % для годового и сезонного стоков и 20 % - для максимального и минимального стоков [7].

Функция обеспеченности, построенная по эмпирическим данным, называется эмпирической кривой обеспеченности. В практике гидрологических

расчетов для сглаживания и экстраполяции эмпирических кривых обеспеченностей используются аналитические кривые (Крицкого-Менкеля, Пирсона III типа, лог-нормального распределений и других, имеющих предел простираения случайной переменной от нуля или положительного значения до бесконечности). Выбранная аналитическая кривая по отношению к эмпирической кривой исполняет роль своего рода гидрологического лекала [8]. В данной работе используются аналитические кривые обеспеченностей Крицкого-Менкеля.

В целях приведения стока различных лет к расчетной обеспеченности гарантированной отдачи водохранилища были рассчитаны статистические параметры стока за различные периоды года, был выполнен подбор кривых обеспеченностей (рисунок 3.16). Также рассчитаны обеспеченные значения расхода ($Q_{p\%}$), необходимые для расчета величины гарантированного расхода. Параметры распределения стока приведены в таблице 3.5, вероятные значения – в таблице 3.6.

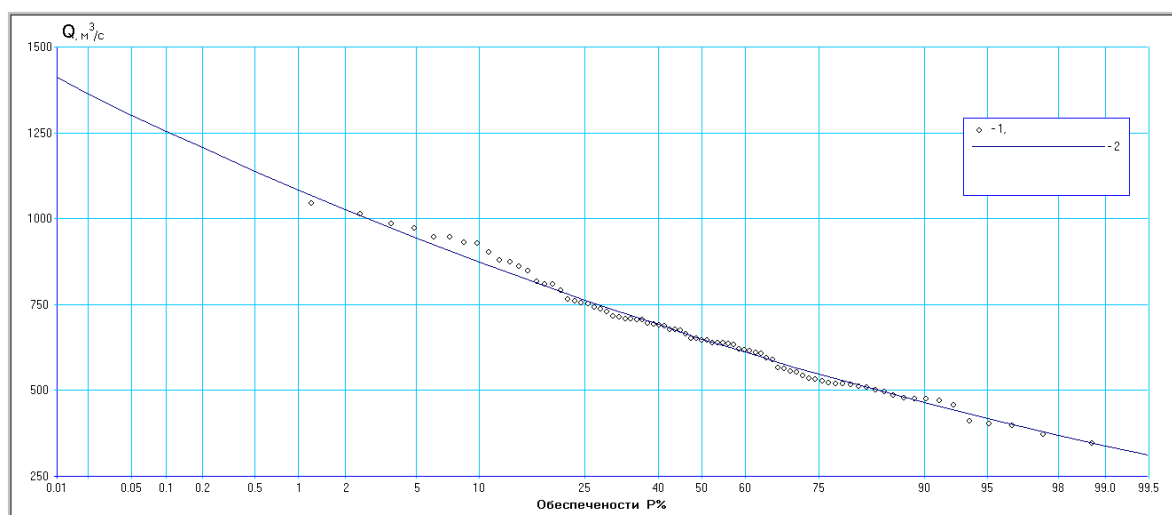


Рисунок 13. Кривая обеспеченности годового стока реки Вилюй – пос. Чернышевский 1926/27 – 2006/07 годы

Таблица 3.5 – Параметры распределения расчетных гидрологических характеристик на реке Вилюй – пос. Чернышевский

| Гидрологическая характеристика | Параметры распределения | | | | | | | |
|--------------------------------|-------------------------|------------------|----------------|----------|----------------|----------|--------------------------------|----------|
| | Q, м ³ /с | r ₍₁₎ | C _v | | C _s | | C _s /C _v | |
| | | | эмпирическое | принятое | эмпирическое | принятое | эмпирическое | принятое |
| Годовой | 660 | 0,50 | 0,24 | 0,24 | 0,39 | 0,49 | 1,60 | 2 |
| Половодье | 2188 | 0,42 | 0,24 | 0,24 | 0,44 | 0,48 | 1,80 | 2 |
| Межень | 151 | 0,09 | 0,60 | 0,60 | 0,75 | 1,19 | 1,26 | 2 |
| Летне-осенняя межень | 425 | 0,07 | 0,62 | 0,62 | 0,79 | 1,24 | 1,28 | 2 |
| Зимняя межень | 14 | 0,27 | 0,53 | 0,53 | 0,79 | 1,05 | 1,50 | 2 |

При вычислении вероятных значений стока соотношение коэффициента асимметрии (C_s) к коэффициенту вариации (C_v) принято равным 2,0, как среднее по бассейну.

Таблица 3.6 – Вероятные значения расчетных гидрологических характеристик на реке Вилюй – пос. Чернышевский

| Гидрологическая характеристика | Расходы воды (м ³ /с), обеспеченностью (%) | | | | | | | |
|--------------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 5 | 10 | 50 | 90 | 95 | 98 | 99 |
| Годовой | 1091 | 947 | 874 | 648 | 466 | 422 | 374 | 346 |
| Половодье | 3601 | 3127 | 2889 | 2144 | 1543 | 1399 | 1241 | 1148 |
| Межень | 434 | 324 | 272 | 134 | 53,7 | 39,2 | 25,5 | 20,0 |
| Летне-осенняя межень | 1258 | 931 | 777 | 374 | 144 | 103 | 65,3 | 50,5 |
| Зимняя межень | 36,2 | 27,7 | 23,7 | 12,7 | 5,76 | 4,43 | 3,15 | 2,57 |

Результатом определения расчетных гидрологических характеристик является выбор модельных лет для построения диспетчерского графика.

В данном разделе по данным среднемесячных и среднегодовых естественных расходов воды за многолетний период наблюдений были определены основные расчетные гидрологические характеристики для реки Вилюй в створе Вилюйских гидроэлектростанций-1,2 поселок Чернышевский. В том числе выполнен статистический анализ динамики многолетних рядов годового, весеннего, летне-осеннего и зимнего стока реки Вилюй, а также его внутригодового распределения.

4 Диспетчерские правила управления работой гидроузла

4.1 Назначение и методика построения диспетчерского графика

В соответствии со статьёй сорок пятой Водного Кодекса Российской Федерации использование водохранилищ осуществляется в соответствии с Правилами использования водных ресурсов водохранилищ и Правилами технической эксплуатации и благоустройства водохранилищ, утвержденными соответствующими органами.

Правилами использования водных ресурсов водохранилищ определяется режим их использования, в том числе режим наполнения и сработки водохранилищ. Правилами технической эксплуатации и благоустройства водохранилищ определяется порядок использования их дна и берегов [10].

Выше упомянутые Правила использования водных ресурсов водохранилищ гидроузлов, в дальнейшем называемые в тексте Правила являются руководящим документом, который определяет надежность снабжения потребителей водой и энергией в установленных размерах обеспечивается строгим применением диспетчерских правил регулирования стока.

Правила составляются с таким расчетом, чтобы в любое время года можно было:

- обеспечить гарантированную водо- или энергоотдачу;
- своевременно выявить избытки воды для использования их на повышенной отдаче;
- смягчить перебои отдачи в условиях дефицита воды, уменьшая глубину перебоев за счет увеличения их продолжительности;
- снижать непроизводительные потери воды;
- устранять переполнение водохранилища над НПУ и ФПУ.

Таким образом, составление Правил, специфических для каждого водохранилища, позволяет повысить эффективность использования стока за счёт непроизводительных сбросов.

Специальные Правила практически оформляются в виде диспетчерских графиков, представляющих собой временные связи между энергоотдачей, заборами воды в верхнем бьефе, попусками воды в нижний бьеф, с одной стороны, и уровнями воды в водохранилище, с другой.

Значительный вклад в разработку диспетчерских графиков внесли С. Н. Крицкий и Ф. М. Менкель [11], Д.В. Коренистов, В.А. Бахтиаров [12], Я. Ф. Плешков [13]. Накоплен огромный опыт в разработке таких графиков и в проектных и в научно-исследовательских институтах – Гидропроекте, Энергосетьпроекте, Гипроводхозе. Обобщённо опыт и принципы построения диспетчерских графиков изложены в книге Г.С. Арсеньева А. Г. Иваненко [14].

При построении диспетчерского графика на оси ординат откладываются объёмы или соответствующие им уровни водохранилища, на оси абсцисс – время на выраженном интервале водохозяйственного года. Диспетчерский график представляет собой линии, являющимися границами зон, в пределах каждой из которых отдаётся потребителю определённый расход воды или мощность, исходя из обеспечения бесперебойной работы водохранилища. Координатное поле диспетчерского графика разделяется характерными линиями, как правило, на три-четыре основные зоны, каждой из которых соответствует определённый режим работы водохранилища:

- зона гарантированной отдачи;
- зона повышенной (по сравнению с гарантированной) отдачи или незакрепленного режима;
- зона полной производительности установки;
- зона сниженной (по сравнению с гарантированной) отдачи или ограничений.

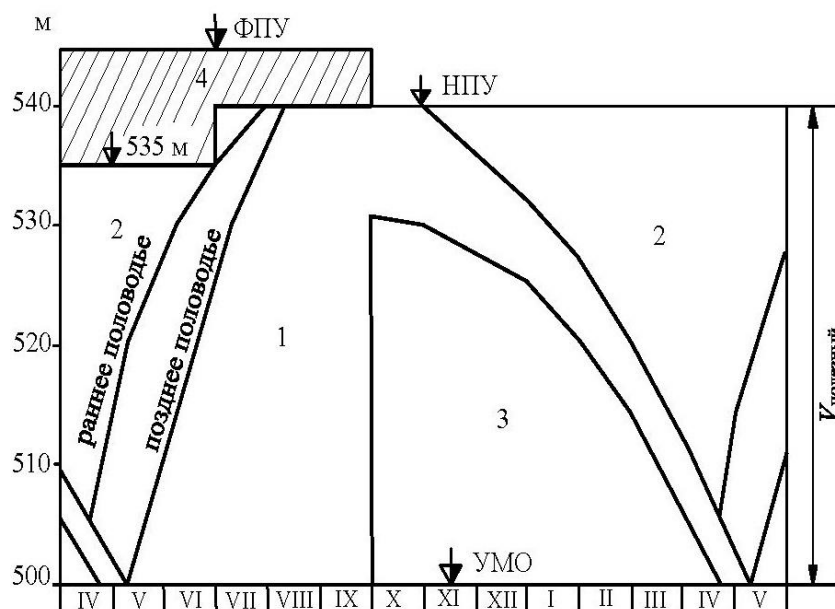
К характерным линиям диспетчерского графика относятся следующие.

1. Противоперебойная линия представляет собой верхнюю границу зоны гарантированной отдачи. Отделяет зону гарантированной отдачи от зоны повышенной отдачи. Состоит из двух ветвей: ветви сработки, ограничивающей упомянутую зону в период межени и не допускающей чрезмерной сработки водохранилища; ветви наполнения, обеспечивающей к концу половодья необходимый запас воды в водохранилище для поддержания отдачи в межень.

2. Противосбросовая линия, представляет собой нижнюю границу зоны с отдачей, повышенной в пределах максимального водопотребления. Состоит из двух ветвей: ветви предполоводной сработки, обеспечивающего опорожнение к началу половодья всего полезного объёма водохранилища для аккумуляции высоких вод; ветви наполнения, предотвращающей чрезмерно быстрое заполнение водохранилища.

3. Линия урезанной, или пониженной, отдачи представляет собой нижнюю границу гарантированной отдачи.

Вид диспетчерского графика изображён на рисунке 3.1.



1 – зона гарантированной отдачи, 2 – зона повышенной отдачи, 3 – зона урезанной отдачи, 4 – зона работы водосброса и ГЭС

Рисунок 3.1 – Диспетчерский график при многолетнем регулировании стока

Противоперебойная и противосбросовая линии своими ветвями охватывают весь сезонный объём водохранилища (сезонную составляющую объёма при многолетнем регулировании).

Все характерные линии строятся навстречу ходу времени, то есть «ходом назад», причем ветви наполнения противоперебойной и противосбросовой линии стоят от НПУ до уровня ежегодной сработки водохранилища (до УМО – при сезонном регулировании и до уровня сработки сезонной составляющей – при многолетнем регулировании), а ветви сработки тех же линий – от уровня ежегодной сработки водохранилища до НПУ.

При расчете и построении диспетчерских графиков необходимы следующие исходные данные:

- основные характеристики плана водохозяйственного использования (гарантированная водо- и энергоотдача и распределение её на протяжении года; расход полной производительности гидроузла; масштабы осуществляемого регулирования стока и другие);

- параметры, определяющие основные размеры водохранилища (ФПУ, НПУ, УЕС, УМО, полезный объём водохранилища, мёртвый объём);

- гидрологическая характеристика водотока в створе гидроузла за весь период наблюдений;

- характеристика ожидаемых прогнозов стока.

При разработке диспетчерских графиков год делится на две фазы – половодье и межень. Статистические характеристики для сезонных объёмов стока и расчётные значения этих объёмов определяются по фактическим рядам стока в жёстких календарных датах. Жёсткие даты деления года на сезоны постоянны для всех лет и назначаются с таким расчётом, чтобы фактическое половодье вмещалось в весенний сезон практически при всех сроках начала половодья. Одновременно с назначением жёстких дат весеннего сезона определяются постоянные границы межени.

На практике границы фаз чаще всего совмещают с началом месяцев и выбирают по данным средних многолетних месячных расходов воды.

Исходными данными, которые используются для построения характерных линий, являются расходы воды за половодье и межень расчетной обеспеченности.

Варианты моделей распределения стока для половодья и межени отбираются также из рядов наблюдений за естественным стоком с приводкой естественного стока к стоку расчетной обеспеченности (более подробно об этом излагается в п. 4.2).

Элементы диспетчерских графиков получаются построением огибающих соответствующих линий сработки и наполнения водохранилища, относящихся к ряду реальных лет (моделей), сток которых предварительно приведен к расчетным значениям.

Расчет и построение элементов диспетчерских графиков начинается с ветви сработки противоположной линии.

Построенные указанным путем отдельные элементы сводятся в единый диспетчерский график, на основе которого осуществляются расчеты регулирования и эксплуатации водохранилища. При этом отдача из водохранилища назначается в зависимости от времени года и от запаса воды в водохранилище на данную дату попуска.

В процессе регулирования речного стока по длительному наблюденному или смоделированному ряду возможны некоторые уточнения зон диспетчерского графика с учетом реального распределения стока как внутри года, так и по годам.

Диспетчерский график должен быть построен таким образом, чтобы обеспечить:

- нормативную надежность гарантированной энерго- и водоотдачи;
- максимально возможную среднюю многолетнюю выработку электроэнергии ГЭС;
- постепенное уменьшение энерго- и водоотдачи по мере сокращения запаса воды в водохранилище для предотвращения глубоких перебоев в крайне маловодных условиях [15].

Конфигурация диспетчерских графиков и особенно количество подзон в каждой зоне его может быть весьма различной. Всё определяется назначением водохранилища комплексного использования стока, но методология разработки его остаётся единой [16].

4.2 Выбор модельных лет и приведение стока к расчетной обеспеченности

Для построения характерных линий диспетчерского графика был произведён подробный предварительный анализ исходной гидрологической информации (п. 2.2). В результате были отобраны наиболее неблагоприятные годы-модели внутригодового распределения стока. Сток меженного периода этих лет был приведены к расчетной обеспеченности отдачи 95 %, сток периода половодья - к обеспеченности 5 %.

Для расчета координат ветви сработки противоперебойной линии отобраны годы-модели по зимней межени (период сработки Вилюйского водохранилища – октябрь-апрель) со стоком, близким к стоку расчётной обеспеченности – 95 %. Расход воды за период зимней межени обеспеченностью 95 % ($Q_{\text{меж.95\%}}$) равен 12,8 м³/с. Отобрано одиннадцать модельных лет, которые перечислены в таблице 4.1. Среднемесячные расходы воды модельных лет ($Q_{\text{j.мод}}$) были приведены к нормативному расходу воды ($Q_{\text{меж.95\%}}$). Переход к расходу воды 95 % осуществляется путём умножения всех среднемесячных расходов воды модельных лет ($Q_{\text{j.мод}}$) на коэффициент приведения ($k_{\text{прив}}$), равный отношению среднего меженного расхода воды в году-модели ($Q_{\text{меж.мод}}$) к нормативному расходу воды ($Q_{\text{меж.95\%}}$). Для каждого модельного года расчёты произведены по формулам 4.1 и 4.2. Результаты расчётов приведены в таблице 4.1.

$$Q_{\text{j.прив}} = Q_{\text{j.мод}} * k_{\text{прив}} , \quad 4.1$$

$$k_{\text{прив}} = \frac{Q_{\text{меж.мод}}}{Q_{\text{меж.95\%}}}, \quad 4.2$$

где $Q_{j.\text{прив}}$ – приведённый к расчётной обеспеченности среднемесячный расход воды в модельном году, м³/с;

Для расчета координат ветви наполнения противосбросовой линии отобраны годы-модели по половодью (период наполнения Вилуйского водохранилища – май-сентябрь) со стоком, близким к стоку расчётной обеспеченности – 5%. Расход воды за период половодья обеспеченностью 5 % ($Q_{\text{пол.5\%}}$) равен 4193 м³/с. Отобрано шесть модельных лет, которые перечислены в таблице 4.2. Среднемесячные расходы воды модельных лет ($Q_{j.\text{мод}}$) были приведены к нормативному расходу воды ($Q_{\text{пол.5\%}}$). Переход к расходу воды 5 % осуществляется путём умножения всех среднемесячных расходов воды модельных лет ($Q_{j.\text{мод}}$) на коэффициент приведения ($k_{\text{прив}}$). Все расчёты сведены в таблицу 4.2.

Для расчёта координат ветви сработки линии ограничений использованы те же годы-модели, что и для расчета ветви сработки противоперебойной линии. Соответственно, все результаты расчётов представлены в таблице 4.1.

Для расчета координат ветви наполнения линии ограничений отобраны годы-модели по половодью со стоком, близким к стоку расчётной обеспеченности – 95%. Расход воды за период половодья обеспеченностью 95 % ($Q_{\text{пол.95\%}}$) равен 975 м³/с. Отобрано восемь модельных лет, которые перечислены в таблице 4.3. Среднемесячные расходы воды модельных лет ($Q_{j.\text{мод}}$) были приведены к нормативному расходу воды ($Q_{\text{пол.95\%}}$). Переход к расходу воды 95 % осуществляется через коэффициент приведения ($k_{\text{прив}}$). Все расчёты представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.1 – Значения расхода воды в маловодные годы-модели для построения ветвей сработки противоперебойной линии и линии ограничений. Приведение по расходу воды за период зимней межени обеспеченностью 95 %

| Год - модель | Расход воды, м ³ /с | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------------------------|------|------|------|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|----------------|
| | Вид стока | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | I | II | III | IV | Средний за год |
| 1928/29 | Фактический | 647 | 4500 | 774 | 106 | 83,7 | 48,5 | 16,3 | 4,33 | 1,87 | 3,48 | 3,81 | 4,74 | 516 |
| k = 1,08 | Приведенный | 698 | 4856 | 835 | 114,4 | 90,3 | 52,3 | 17,6 | 4,67 | 2,02 | 3,76 | 4,11 | 5,12 | 557 |
| 1929/30 | Фактический | 2060 | 3120 | 2430 | 537 | 240 | 50,0 | 14,8 | 4,53 | 1,61 | 0,93 | 0,95 | 1,77 | 705 |
| k = 1,20 | Приведенный | 2475 | 3748 | 2919 | 645 | 288 | 60,1 | 17,8 | 5,44 | 1,93 | 1,12 | 1,14 | 2,13 | 847 |
| 1946/47 | Фактический | 1220 | 3500 | 481 | 140 | 75,2 | 33,1 | 8,7 | 6,10 | 4,15 | 3,08 | 2,45 | 12,4 | 457 |
| k = 1,28 | Приведенный | 1562 | 4481 | 616 | 179 | 96,3 | 42,4 | 11,1 | 7,81 | 5,31 | 3,94 | 3,14 | 15,9 | 585 |
| 1950/51 | Фактический | 3370 | 2110 | 427 | 139 | 35,0 | 26,6 | 18,6 | 10,40 | 3,80 | 2,30 | 1,50 | 2,30 | 512 |
| k = 1,37 | Приведенный | 4610 | 2886 | 584 | 190 | 47,9 | 36,4 | 25,4 | 14,23 | 5,20 | 3,15 | 2,05 | 3,15 | 701 |
| 1969/70 | Фактический | 1230 | 2360 | 721 | 137 | 228 | 56,6 | 14,8 | 7,15 | 2,13 | 2,05 | 1,05 | 2,07 | 397 |
| k = 1,04 | Приведенный | 1284 | 2463 | 752 | 143 | 238 | 59,1 | 15,4 | 7,46 | 2,22 | 2,14 | 1,10 | 2,16 | 414 |
| 1972/73 | Фактический | 2300 | 2980 | 203 | 59 | 85 | 70,6 | 7,8 | 2,67 | 2,60 | 1,89 | 1,76 | 1,96 | 476 |
| k = 1,00 | Приведенный | 2309 | 2991 | 204 | 60 | 85 | 70,9 | 7,8 | 2,68 | 2,61 | 1,90 | 1,77 | 1,97 | 478 |
| 1984/85 | Фактический | 3880 | 1960 | 130 | 56,0 | 151 | 54,8 | 12,2 | 5,44 | 3,49 | 3,15 | 1,57 | 14,4 | 523 |
| k = 0,94 | Приведенный | 3658 | 1848 | 123 | 52,8 | 142 | 51,7 | 11,5 | 5,13 | 3,29 | 2,97 | 1,48 | 13,6 | 493 |
| 1985/86 | Фактический | 2330 | 1350 | 702 | 107 | 240 | 79 | 17,20 | 4,39 | 1,41 | 0,98 | 1,81 | 3,53 | 403 |

Продолжение таблицы 4.1

| Год - модель | Расход воды, м ³ /с | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|----------------|
| | Вид стока | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | I | II | III | IV | Средний за год |
| k = 0,83 | Приведенный | 1931 | 1119 | 582 | 89 | 199 | 65 | 14,25 | 3,64 | 1,17 | 0,81 | 1,50 | 2,93 | 334 |
| 1987/88 | Фактический | 1470 | 4050 | 1100 | 1440 | 155 | 65 | 13,30 | 4,97 | 3,88 | 1,88 | 1,34 | 5,01 | 693 |
| k = 0,94 | Приведенный | 1382 | 3809 | 1034 | 1354 | 146 | 61 | 12,51 | 4,67 | 3,65 | 1,77 | 1,26 | 4,71 | 651 |
| 1992/93 | Фактический | 5170 | 1600 | 632 | 88,4 | 78,0 | 52,8 | 12,2 | 7,80 | 6,30 | 5,00 | 4,70 | 6,00 | 639 |
| k = 0,95 | Приведенный | 4886 | 1512 | 597 | 83,6 | 73,7 | 49,9 | 11,5 | 7,37 | 5,95 | 4,73 | 4,44 | 5,67 | 604 |
| 1994/95 | Фактический | 3220 | 4780 | 375 | 70,6 | 59,8 | 66,0 | 14,5 | 3,60 | 2,30 | 1,90 | 1,50 | 1,60 | 716 |
| k = 0,98 | Приведенный | 3157 | 4686 | 368 | 69,2 | 58,6 | 64,7 | 14,2 | 3,53 | 2,25 | 1,86 | 1,47 | 1,57 | 702 |

Таблица 4.2 –Значения расхода воды в многоводные годы – модели для построения ветви наполнения противосбросовой линии. Приведение по расходу воды за период половодья обеспеченностью 5 %

| Год - модель | Расход воды, м3/с | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-------------------|------|------|-----|------|------|------|--------|------|-------|------|------|------|----------------|
| | Вид стока | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | I | II | III | IV | Средний за год |
| 1936/37 | Фактический | 1710 | 1610 | 539 | 250 | 134 | 118 | 61,4 | 18,1 | 9,46 | 6,39 | 2,84 | 3,67 | 372 |
| k = 1,15 | Приведенный | 1965 | 1850 | 619 | 287 | 154 | 136 | 70,5 | 20,8 | 10,87 | 7,34 | 3,26 | 4,22 | 427 |
| 1942/43 | Фактический | 1060 | 1220 | 639 | 209 | 698 | 225 | 49,1 | 17 | 6,07 | 4,62 | 4,65 | 2,89 | 345 |
| k = 1,27 | Приведенный | 1351 | 1554 | 814 | 266 | 889 | 287 | 62,6 | 21,7 | 7,73 | 5,89 | 5,92 | 3,68 | 439 |
| 1945/46 | Фактический | 2150 | 1580 | 461 | 323 | 264 | 97,0 | 28,2 | 9,3 | 2,1 | 1,8 | 1,5 | 1,7 | 410 |
| k = 1,02 | Приведенный | 2194 | 1612 | 470 | 330 | 269 | 99,0 | 28,8 | 9,49 | 2,14 | 1,84 | 1,53 | 1,73 | 418 |
| 1946/47 | Фактический | 1220 | 3500 | 481 | 140 | 75,2 | 33,1 | 8,7 | 6,1 | 4,15 | 3,08 | 2,45 | 12,4 | 457 |
| k = 0,90 | Приведенный | 1098 | 3150 | 433 | 126 | 68 | 29,8 | 7,8 | 5,49 | 3,74 | 2,77 | 2,21 | 11,2 | 411 |
| 1947/48 | Фактический | 3350 | 1100 | 317 | 133 | 501 | 290 | 37 | 13,1 | 4,35 | 2,49 | 1,86 | 0,86 | 479 |
| k = 0,90 | Приведенный | 3024 | 993 | 286 | 120 | 452 | 262 | 33,4 | 11,8 | 3,93 | 2,25 | 1,68 | 0,78 | 433 |
| 1969/70 | Фактический | 1230 | 2360 | 721 | 137 | 228 | 56,6 | 14,8 | 7,15 | 2,13 | 2,05 | 1,05 | 2,07 | 397 |
| k = 1,04 | Приведенный | 1282 | 2460 | 752 | 143 | 238 | 59,0 | 15,4 | 7,45 | 2,22 | 2,14 | 1,09 | 2,16 | 414 |
| 1971/72 | Фактический | 1650 | 2490 | 493 | 182 | 518 | 234 | 51,000 | 13,2 | 3,45 | 2,11 | 2,08 | 2,39 | 470 |
| k = 0,91 | Приведенный | 1508 | 2276 | 451 | 166 | 474 | 214 | 46,6 | 12,1 | 3,2 | 1,9 | 1,9 | 2,2 | 430 |
| 1985/86 | Фактический | 2330 | 1350 | 702 | 107 | 240 | 78,8 | 17,2 | 4,39 | 1,41 | 0,98 | 1,81 | 3,53 | 403 |

Таблица 4.3 – Значения расхода воды в маловодные годы – модели для построения ветви наполнения линии ограничений. Приведение по расходу воды за период половодья обеспеченностью 95 %

| Год - модель | Расход воды, м3/с | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------|
| | Вид стока | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | I | II | III | IV | Средний за год |
| 1978/79 | Фактический | 3750 | 4780 | 733 | 150 | 584 | 271 | 40,3 | 11,6 | 3,74 | 2,41 | 2,44 | 4,79 | 861 |
| k = 0,98 | Приведенный | 3687 | 4699 | 721 | 147 | 574 | 266 | 39,6 | 11,4 | 3,68 | 2,37 | 2,40 | 4,71 | 847 |
| 1989/90 | Фактический | 5430 | 3810 | 1210 | 636 | 669 | 254 | 57,9 | 31,2 | 20,7 | 10,3 | 17,9 | 24,9 | 1014 |
| k = 0,91 | Приведенный | 4928 | 3458 | 1098 | 577 | 607 | 231 | 52,5 | 28,3 | 18,8 | 9,35 | 16,2 | 22,6 | 921 |
| 1990/91 | Фактический | 7430 | 1740 | 279 | 287 | 537 | 440 | 84,1 | 18,3 | 5,69 | 3,64 | 3,45 | 7,59 | 903 |
| k = 0,91 | Приведенный | 6795 | 1591 | 255 | 262 | 491 | 402 | 76,9 | 16,7 | 5,20 | 3,33 | 3,16 | 6,94 | 826 |
| 1994/95 | Фактический | 3220 | 4780 | 375 | 70,6 | 59,8 | 66,0 | 14,5 | 3,60 | 2,30 | 1,90 | 1,50 | 1,60 | 716 |
| k = 1,05 | Приведенный | 3375 | 5011 | 393 | 74 | 63 | 69 | 15,2 | 3,8 | 2,41 | 1,99 | 1,57 | 1,68 | 751 |
| 1998/99 | Фактический | 2810 | 6900 | 1570 | 229 | 698 | 191 | 68,0 | 23,5 | 12,4 | 10,1 | 7,40 | 5,80 | 1044 |
| k = 0,86 | Приведенный | 2427 | 5959 | 1356 | 198 | 603 | 165 | 58,7 | 20,3 | 10,7 | 8,72 | 6,39 | 5,01 | 901 |
| 2002/03 | Фактический | 5250 | 3210 | 416 | 568 | 1340 | 252 | 73,0 | 17,6 | 4,80 | 2,60 | 1,80 | 2,50 | 928 |
| k = 0,99 | Приведенный | 5204 | 3182 | 412 | 563 | 1328 | 250 | 72,4 | 17,4 | 4,76 | 2,58 | 1,78 | 2,48 | 920 |

4.3 Уточнение параметров водохранилища и гарантированной величины водоотдачи

Основные параметры Вилюйского водохранилища для предыдущих нормативных уровней: НПУ = 246,00 м и УЕС = 239,00 м перечислены в п. 2.2. Вилюйское водохранилище работает на переменную отдачу, поэтому величина гарантированного расхода вычисляется для двух периодов: сработки и наполнения (п. 5.2). По величине энергопотребления основной лимитирующий период – зимний, в это время требуется повышенная энергоотдача. В весенне-летний период энергопотребление существенно меньше, основная задача обеспечить наполнение водохранилища до НПУ.

Гарантированный расход периода наполнения (май-сентябрь) определен, исходя из граничных отметок наполнения-сработки Вилюйского водохранилища, установленных при построении диспетчерского графика для предыдущих нормативных уровней. Он равен $85 \text{ м}^3/\text{с}$. Аналогично определен гарантированный расход периода сработки (октябрь-апрель) и равен он $790 \text{ м}^3/\text{с}$.

По новым нормативным уровням: НПУ = 244,00 м и УЕС = 238,00 м, были установлены новые параметры Вилюйского водохранилища: полезный объём ($V_{плз}$) и его сезонная составляющая, которые используются для ежегодного регулирования стока на реке Вилюй.

Объём сезонной составляющей Вилюйского водохранилища ($V_{с.с}$) обеспечивает величину гарантированной отдачи, которая обеспечивает ежегодное увеличение естественного (фактического) стока на реке Вилюй. Так как объём сезонной составляющей используется для ежегодного регулирования стока, то есть и для обеспечения гарантированной отдачи, была разработана соответствующая методика для определения нового значения гарантированного расхода воды.

С использованием объемной кривой и интерполяционной таблицы объёмов воды Вилюйского водохранилища был определен объём ежегодной

сработки (V_{ec}), он же - объём сезонной составляющей Вилуйского водохранилища. Данный объём заключается между отметками НПУ = 244,00 м и УЕС = 238,00 м и равен он 11650 млн.м³.

Величина гарантированной отдачи в период сработки определена путем решения уравнения водного баланса водохранилища, имеющего следующий вид

$$W_{\text{гар.сраб}} = \frac{W_{\text{меж.95\%}} + V_{\text{ec}}}{7 * 2,63 * 10^6}, \quad (4.3)$$

где $W_{\text{гар.сраб}}$ – объём гарантированной отдачи за период сработки расчётной обеспеченностью 95 %, млн.м³;

$W_{\text{меж.95\%}}$ – объём естественного стока реки Вилуй за период зимней межени, приведенный к расчетной обеспеченности 95 %, млн.м³;

7 – период сработки (октябрь-апрель), месяц;

$2,63 \cdot 10^6$ – количество секунд в месяце.

Для определения объема естественного стока реки Вилуй за период зимней межени, приведенного к расчетной обеспеченности 95 %, использовались годы-модели, выбранные по имеющимся данным о стоке за меженный период и приведенные к расчетной обеспеченности, более подробно о данной методике говорится в п. 4.2.

После выполнения расчётов получено, что $W_{\text{меж.95\%}}$ равен 234 млн.м³, $W_{\text{гар}}$ равен 11884 млн.м³. Далее из объемов выполнен переход в расходы и установлена новая величина гарантированного расхода периода сработки, равная 650 м³/с.

Величина гарантированной отдачи в период наполнения определена через связь между гарантированным расходом наполнения, гарантированным расходом сработки, объёмом ежегодной сработки (рисунок 4.2). Величины гарантированного расхода сработки и объёма ежегодной сработки известны.

Для оценки гарантированного расхода наполнения расчётной обеспеченностью 95 %, использовано уравнение водного баланса, имеющего следующий вид

$$W_{\text{гар.нап}} = \frac{W_{\text{пол.95\%}} - V_{\text{ес}}}{5 * 2,63 * 10^6}, \quad (4.4)$$

где $W_{\text{гар.нап}}$ – объем гарантированной отдачи за период наполнения расчётной обеспеченностью 95 %, млн.м³;

$W_{\text{пол.95\%}}$ – объем естественного стока реки Виллой за период половодья, приведенный к расчетной обеспеченности 95 %, млн.м³;

5 – период наполнения (май-сентябрь), месяц;

Для определения объема естественного стока реки Виллой за период половодья, приведенного к расчетной обеспеченности 95 %, использовались годы-модели, выбранные по имеющимся данным о стоке за период половодья, более подробно о данной методике говорится в п. 4.2.

После выполнения расчётов получено, что $W_{\text{пол.95\%}}$ равен 12889 млн.м³, $W_{\text{гар}}$ равен 1039 млн.м³. После перехода в объёмы, полученная величина была скорректирована с помощью связи (рисунок 4.2) и установлена новая величина гарантированного расхода периода наполнения, равная 95 м³/с.

Оценивая старое значение величины гарантированного расхода сработки и новое значение, необходимо отметить, что снижение гарантированной отдачи в период сработки произошло на 18 %. В период наполнения наоборот произошло увеличение гарантированной отдачи на 10 %.

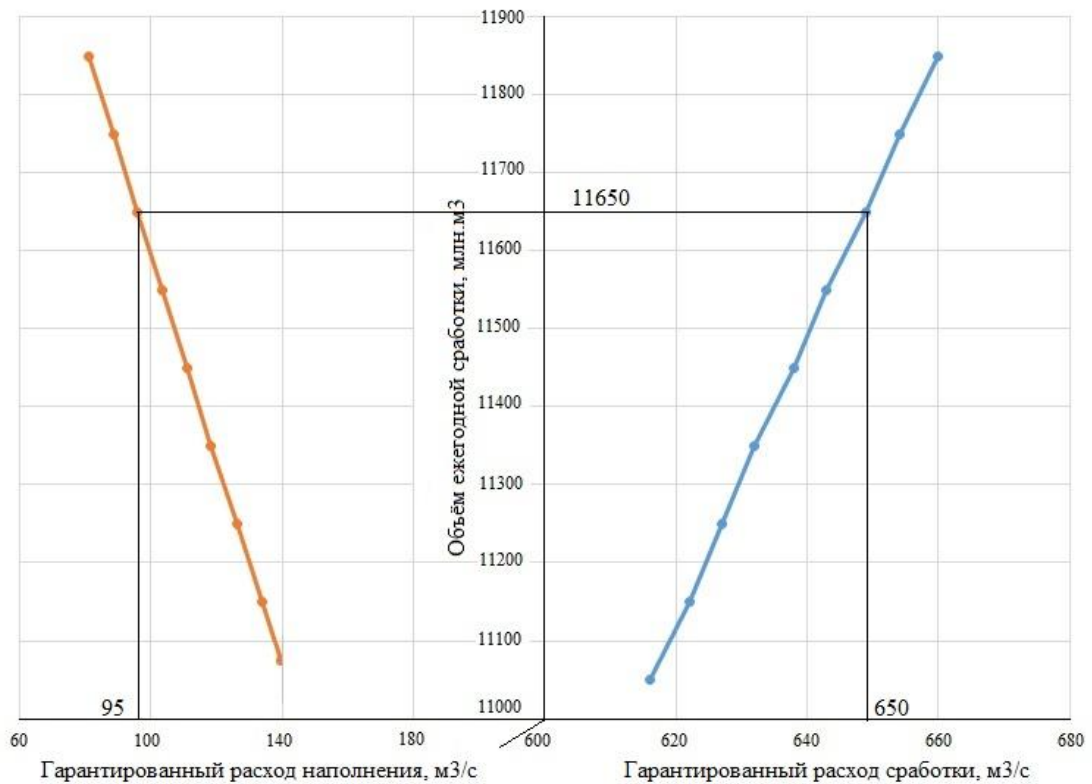


Рисунок 4.2 – Связь между гарантированным расходом наполнения, гарантированным расходом сработки, объёмом ежегодной сработки

4.4 Расчет координат режимных линий диспетчерского графика для новых условий наполнения

В соответствии с методикой, изложенной в п. 4.1, табличным балансовым способом был произведён расчёт координат характерных линий диспетчерского графика Вилюйского водохранилища [17].

Выполнение расчётов началось с ветви сработки противоперебойной линии. Для её расчёта использовались годы-модели со стоком зимней межени, приведенные к расчётной обеспеченности 95 % (п.4.2). Расчёт был выполнен «ходом назад» от отметки, соответствующей УЕС 238,00 м при этом использовался гарантированный расход сработки равный 650 м³/с (п.4.3).

Полученные в результате расчёта различные варианты ветвей сработки противоперебойной линии изображены на графике (рисунок 4.3). Как видно из

данного графика, каждому году отвечает своя линия наполнения, но разброс значений небольшой. Верхняя огибающая всех построенных линий принимается за ветвь сработки противоперебойной линии.

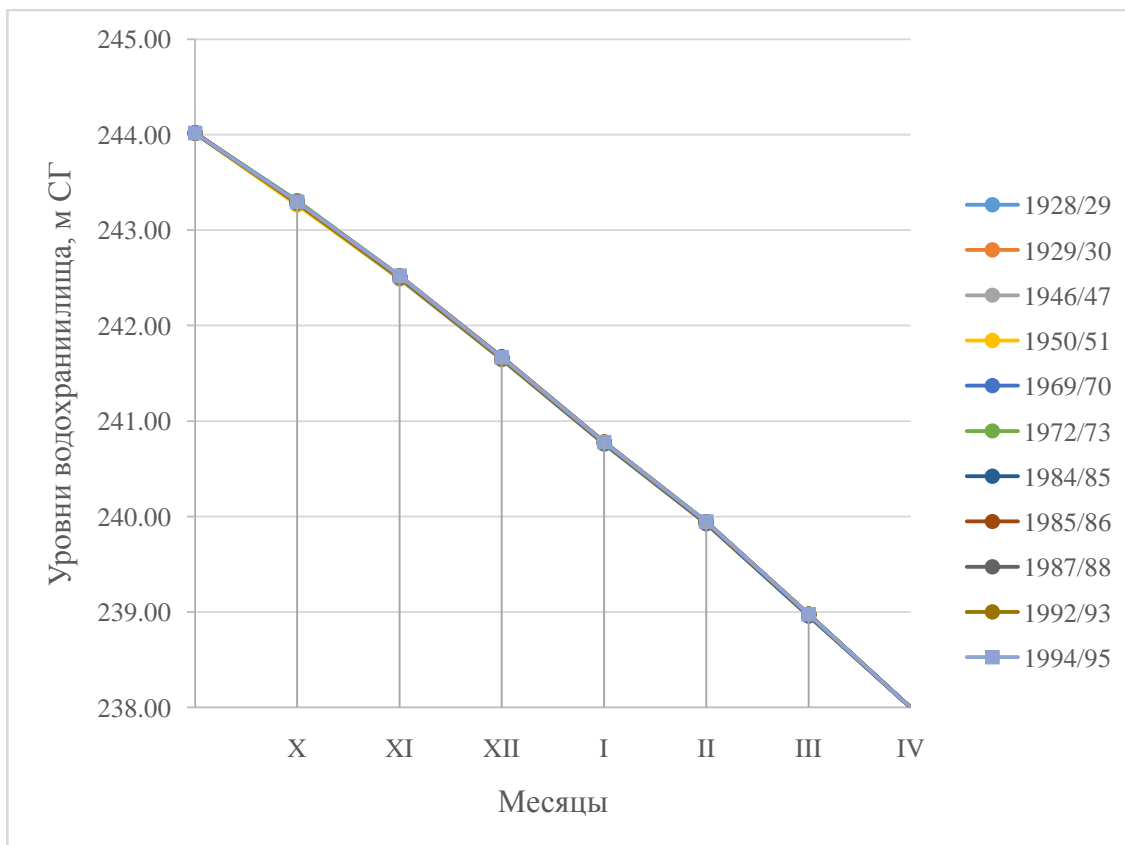


Рисунок 4.3 – Расчёт ветви сработки противоперебойной линии

Для расчёта ветви наполнения противосбросовой линии использовались годы-модели со стоком половодья, приведенные к расчётной обеспеченности 5 % (п.4.2). По всем годам выполнены расчёты «ходом назад» до отметки заполненного до НПУ (244,00 м) водохранилища. При этом использовался расход воды равный полной пропускной способности ГЭС (1376 м³/с).

Как видно из графика (рисунок 4.4), каждому году отвечает своя линия наполнения и в совокупности этими линиями обрисовывается довольно широкая полоса. Нижняя огибающая всех построенных линий принимается за ветвь наполнения противосбросовой линии.

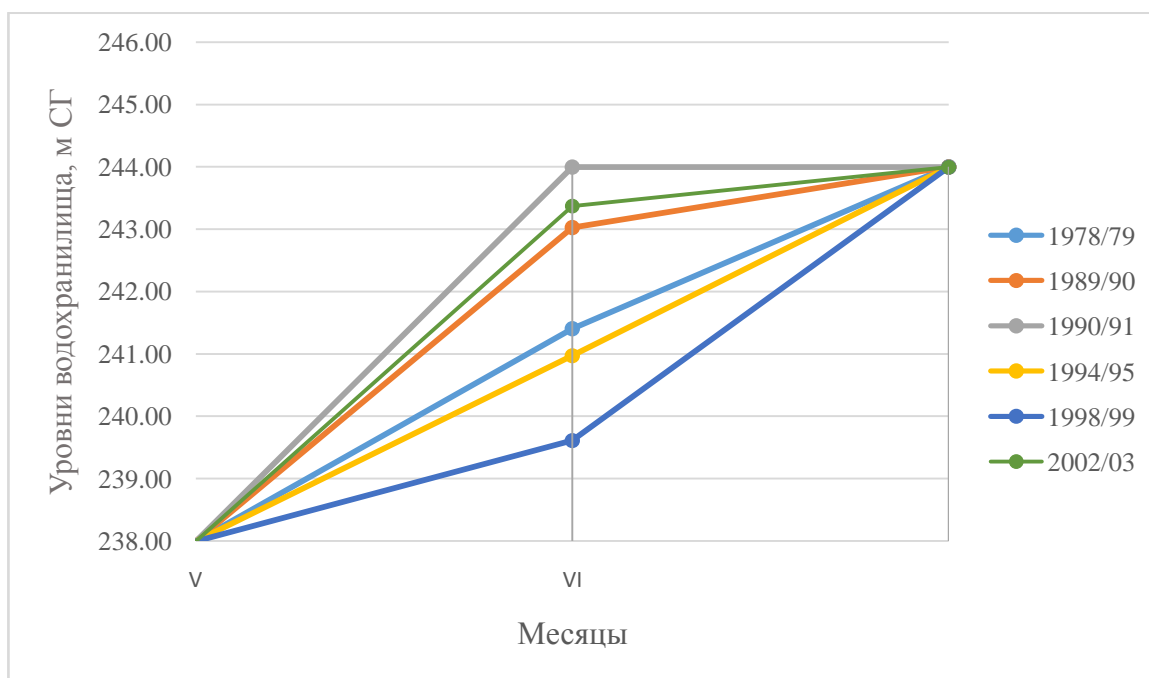


Рисунок 4.4 – Расчёт ветви наполнения противосбросовой линии

Для расчёта ветви сработки линии ограничений использовались годы-модели со стоком зимней межени, приведенные к расчётной обеспеченности 95 % (п.4.2). Расчёт был выполнен «ходом назад» от отметки, соответствующей УМО 234,00 м при этом использовался гарантированный расход сработки равный $650 \text{ м}^3/\text{с}$ (п.4.3).

Полученные в результате расчёта различные варианты ветвей сработки линии ограничений изображены на графике (рисунок 4.5). Как видно из этого графика, каждому году отвечает своя линия наполнения, но разброс значений небольшой. Нижняя огибающая всех построенных линий принимается за ветвь сработки линии ограничений.

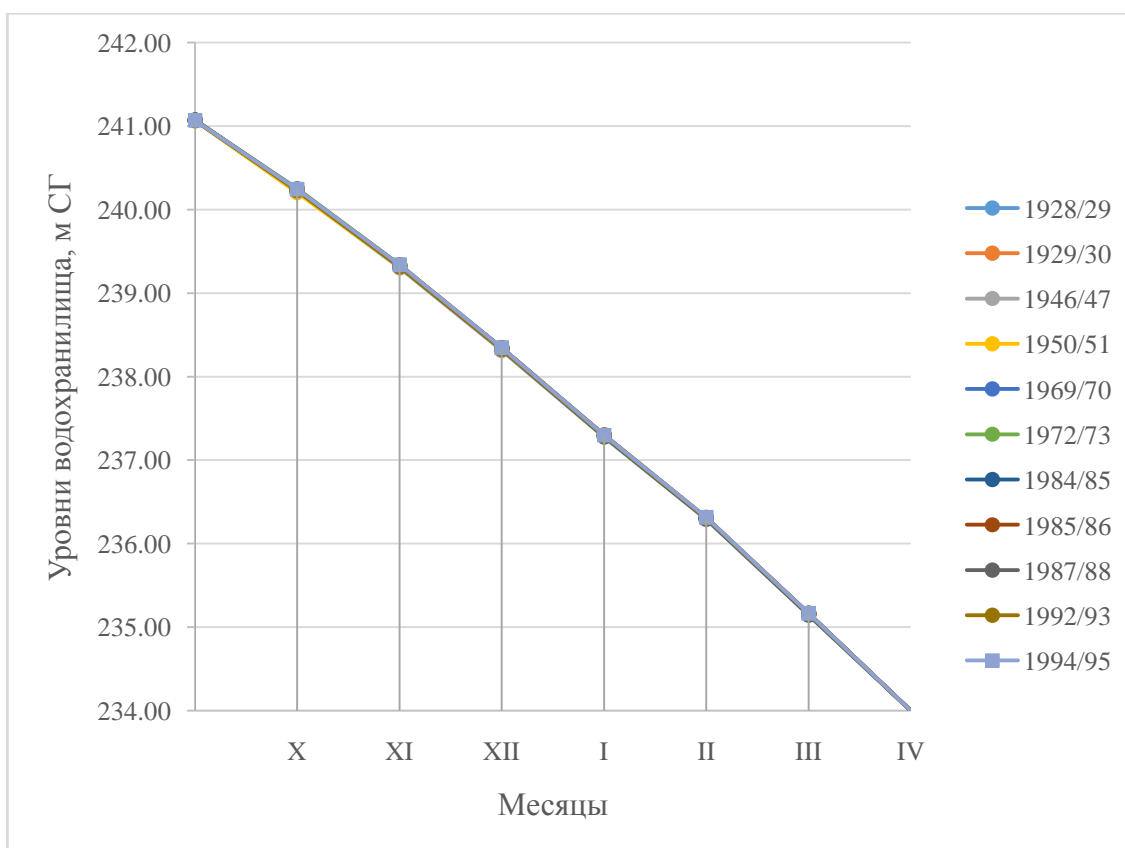


Рисунок 4.5 – Расчёт ветви сработки линии ограничений

Для расчёта ветви наполнения линии ограничений использовались годы-модели со стоком половодья, приведенные к расчётной обеспеченности 95 % (п.4.2). По всем годам выполнены расчёты «ходом назад» до отметки УМО (234,00 м) при этом использовался гарантированный расход наполнения равный $95 \text{ м}^3/\text{с}$

Как видно из графика (рисунок 4.6), каждому году отвечает своя линия наполнения и в совокупности этими линиями обрисовывается довольно широкая полоса. Нижняя огибающая всех построенных линий принимается за ветвь наполнения линии ограничений.

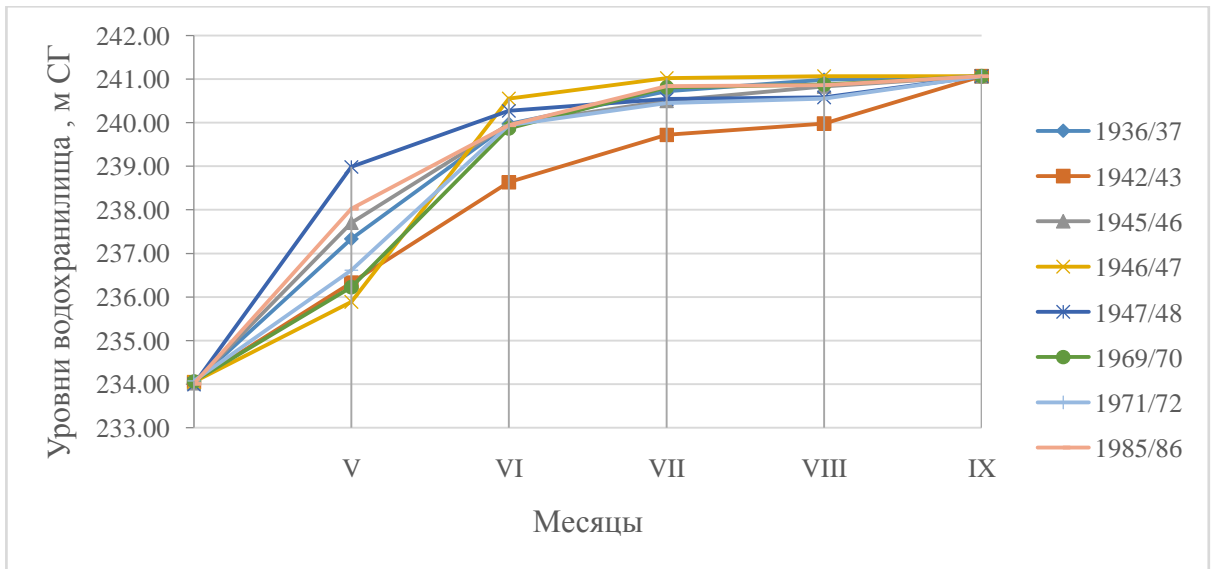


Рисунок 4.6 – Расчёт ветви наполнения линии ограничений

В завершении расчётов выполнена компоновка диспетчерского графика. Все линии, построение которых изложено выше, совмещены на рисунке 4.7.

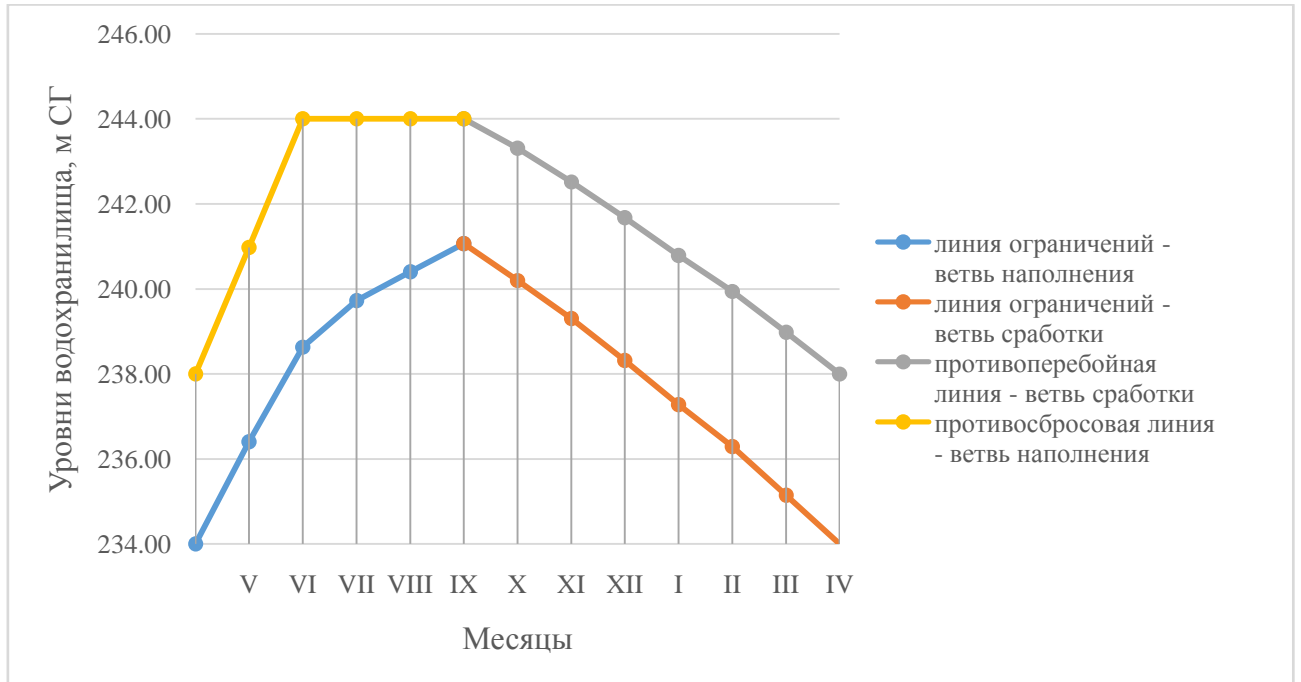


Рисунок 4.7 – Скомпонованный диспетчерский график

После компоновки выполнено редактирование. В результате получен диспетчерский график управления работой Вилюйского водохранилища для новых условий наполнения (рисунок 4.8).

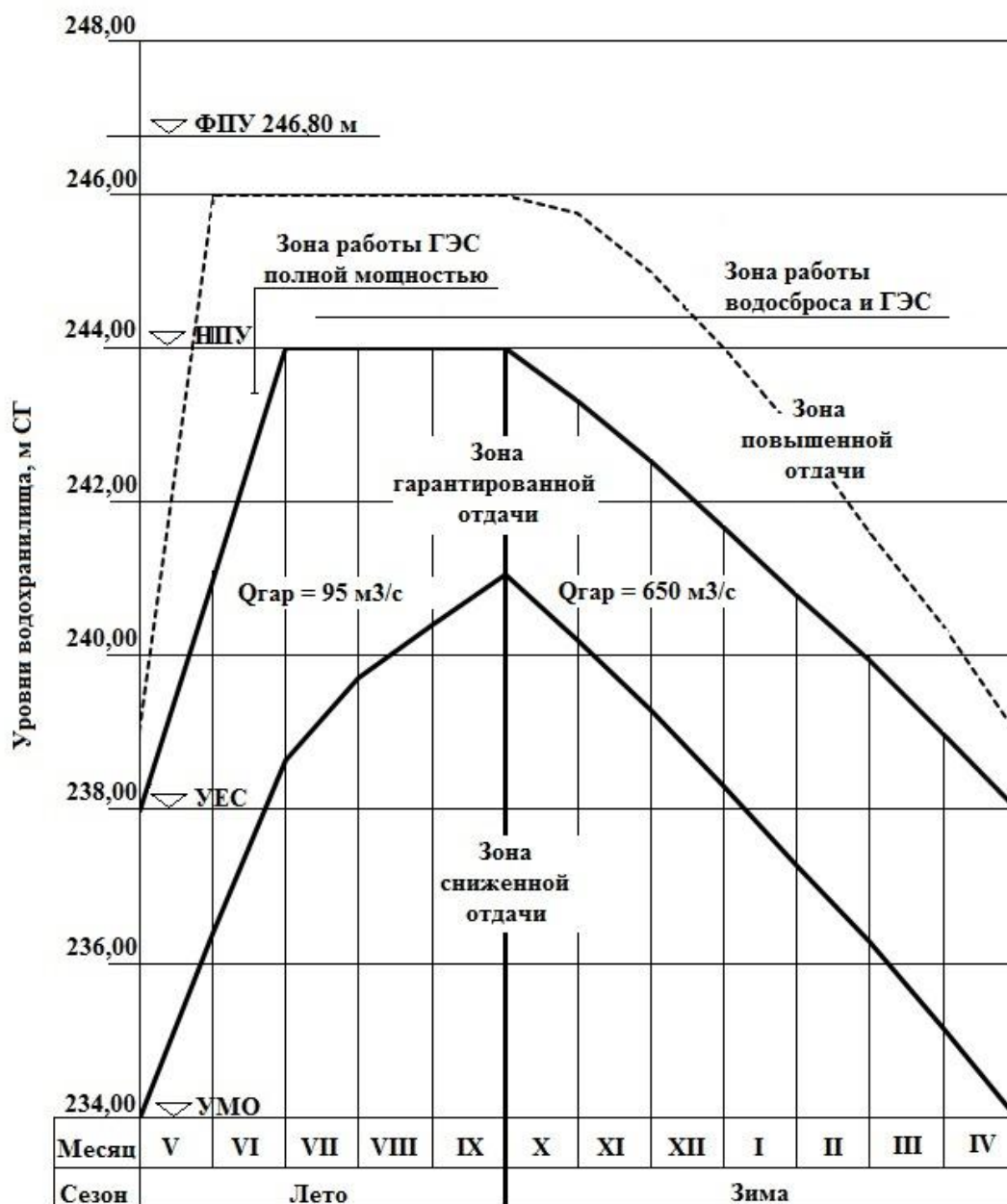


Рисунок 4.8 – Диспетчерский график управления работой Вилюйского водохранилища для новых условий наполнения

Проанализировав диспетчерский график управления работой Вилюйского водохранилища для новых условий наполнения (рисунок 4.8), необходимо отметить, что зона гарантированной отдачи периода наполнения заключена между гарантированным расходом наполнения и расходом равным полной пропускной способности ГЭС. После данной зоны следует зона работы ГЭС полной мощностью при этом зона повышенной отдачи не предусматривается независимо от интенсивности наполнения водохранилища. Зона работы водосброса и ГЭС отвечает за регулирование водохранилища в многоводный период, когда водохранилище заполнено и необходимы холостые сбросы. В свою очередь зона гарантированной отдачи периода сработки ограничена гарантированным расходом сработки, после данной зоны следует зона повышенной отдачи. Зона сниженной отдачи характеризуется регулированием водохранилища в маловодный период с отдачей расхода воды ниже гарантированного.

5 Оценка изменений в энергоотдаче Вилюйского гидроузла при снижении отметки наполнения водохранилища

5.1 Определение и задачи водноэнергетических расчётов

Под водноэнергетическими расчётами понимают совокупность операций, выполняемых для определения выработки электроэнергии на ГЭС в условиях различной водности потока применительно к различным параметрам гидроузлов и водохранилищ (при проектировании) и правилам использования водных ресурсов (как при проектировании, так и при эксплуатации).

Целью водноэнергетических расчетов является: определение основных показателей и режимов работы ГЭС при различных параметрах гидроузла и при заданных графиках отдачи станции по мощности, расходу нижнего бьефа или уровням бьефов – верхнего и нижнего; составление многолетней характеристики режима работы гидроузла при выбранных в результате технико-экономических расчётов параметрах.

Основными водноэнергетическими показателями ГЭС считаются мощности ГЭС – гарантированная (обеспеченная) и располагаемая, а также средняя многолетняя годовая выработка электроэнергии. Гарантированной мощностью ГЭС называется минимальная среднемесячная, среднесезонная или среднегодовая мощность, которую ГЭС обеспечивается с заданной надёжностью. Располагаемая мощность ГЭС представляет собой максимальную мощность ГЭС, соответствующую располагаемому напору, коэффициенту полезного действия и полной пропускной способности турбин ГЭС при этом напоре [14].

Мощность ГЭС, отдаваемая с шин генератора, рассчитывается по формуле

$$N_{\text{ГЭС}} = K_N * Q_{\text{ГЭС}} * H_{\text{нетто}}, \quad (5.1)$$

где $N_{\text{ГЭС}}$ – мощность ГЭС, кВт;

K_N – коэффициент мощности;

$Q_{\text{ГЭС}}$ – расход воды, используемый ГЭС для получения электроэнергии, то есть расход воды, пропускаемый через турбины ГЭС, м³/с;

$H_{\text{нетто}}$ – полезный напор нетто, определяемый разностью уровней верхнего и нижнего бьефов с учётом гидравлических потерь в водопроводящих сооружениях, м.

Суммарной характеристикой работы ГЭС за какой-то период является выработка электрической энергии, рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E} = \bar{N} * T, \quad (5.2)$$

где \mathcal{E} – выработка электрической энергии, кВт·ч;

\bar{N} – средняя мощность в интервале T , кВт;

T – число часов работы ГЭС;

5.2 Регулирование энергоотдачи Виллойских ГЭС

Регулирование энергоотдачи Виллойских ГЭС-1,2 ведется полезной ёмкостью водохранилища, в соответствии с диспетчерским графиком его работы (п. 4.4).

Среднемноголетняя годовая выработка электроэнергии для Виллойских ГЭС-1,2 определилась в размере 2445 млн.кВт·ч. В расчетах мощности и выработки ГЭС учтены:

– ограничения в электропотреблении в летний период (с мая по сентябрь) с учетом прогноза роста (по данным ОАО «Виллойская ГЭС-3»);

– судоходные попуски для обеспечения судоходных глубин на нижнем участке реки (0-760 км от устья);

– потери стока на испарение с водной поверхности водохранилищ в течение 6 летних месяцев и круглогодичные на фильтрацию через сооружения - $5 \text{ м}^3/\text{с}$;

– временные потери на ледообразование при оседании льда по берегам водохранилища Вилюйских ГЭС-1,2 при его зимней сработке (с возвратом в мае при таянии льда);

– потери напора в водоподводящих трактах Вилюйских ГЭС-1,2 – 0,8 м.

Гарантированная зимняя мощность и выработка имеют обеспеченность 95 %. На Вилюйских ГЭС-1,2 зимняя гарантированная выработка составила 1500 млн.кВт·ч, гарантированная мощность в максимальные по нагрузке месяцы декабрь-январь – 355 МВт. Минимальная зимняя выработка электроэнергии на Вилюйских ГЭС-1,2 составила 1161 млн.кВт·ч.

Годовое электропотребление в Западно-Якутском энергетическом районе распределяется по сезонам крайне неравномерно, доля зимней составляющей в два с половиной раза больше летней. Летние ограничения нагрузок приводят к значительным холостым сбросам воды в период весеннего половодья и летне-осенних дождевых паводков. Практически полностью через водосброс сбрасываются судоходные попуски в июне-июле. В результате годовой объем холостых сбросов составляет в среднем $2,5 \text{ км}^3$.

В настоящее время Вилюйские ГЭС обеспечивают электроэнергией замкнутый Западно-Якутский энергетический район, не имеющий электрических связей с другими регионами Республики Саха и соседними энергосистемами. Это не позволяет использовать избытки электроэнергии, которая могла быть выработана в летний период с мая по сентябрь в годы повышенной водности, когда электропотребление в западной Якутии падает в те месяцы, когда нужно пропускать через сооружения гидроузлов высокие расходы весеннего половодья и летне-осенних дождевых паводков и давать попуски на судоходство. При проектировании Вилюйских ГЭС объединение

Западно-Якутского энергорайона с Южно-Якутским, имеющим выход в энергосистему Дальнего Востока, планировалось в 1990 году [4].

5.3 Водноэнергетические расчёты по календарным стоковым рядам для периодов различной водности

Для оценки изменений в энергоотдаче Вилнойского гидроузла при снижении отметки наполнения водохранилища были произведены водноэнергетические расчёты по исходному ряду (п. 2.3). Из исходного ряда естественных расходов воды были выбраны три года, характеризующие периоды различной водности. Также оценка была произведена для маловодной двухлетки.

За модель многоводного года был выбран 1998/99 водохозяйственный год. Среднемесячные расходы воды модельного года были приведены к нормативному расходу воды (годовой сток обеспеченностью 5 %). Переход к расходу воды 5 % осуществляется путём умножения всех среднемесячных расходов воды модельного года на коэффициент приведения, равный отношению расхода воды в году-модели к нормативному расходу воды, который равен $947 \text{ м}^3/\text{с}$. Все расчёты сведены в таблицу 5.1.

За модель среднего по водности года был выбран 2003/04 водохозяйственный год. Среднемесячные расходы воды модельного года были приведены к нормативному расходу воды, который равен норме стока ($690 \text{ м}^3/\text{с}$). Все расчёты сведены в таблицу 5.1.

За модель маловодного года был выбран 1945/46 водохозяйственный год. Среднемесячные расходы воды модельного года были приведены к нормативному расходу воды (годовой сток обеспеченностью 95 % - $422 \text{ м}^3/\text{с}$). Все расчёты сведены в таблицу 5.1.

Для маловодной двухлетки были выбраны 1945/46 и 1946/47 водохозяйственные годы. Как и для модели маловодного года среднемесячные

расходы воды были приведены к расходу воды обеспеченностью 95 % (422 м³/с). Все расчёты сведены в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 - Значения расхода воды для лет – моделей в периоды различной водности, приведённые к расходу воды расчётной обеспеченности

| Год - модель | Расход воды, м ³ /с | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------------------------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|------|----------------|
| | Вид стока | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | I | II | III | IV | Средний за год |
| 1998/99 | Фактический | 2810 | 6900 | 1570 | 229 | 698 | 191 | 68,0 | 23,5 | 12,4 | 10,10 | 7,40 | 5,80 | 1044 |
| k = 0,91 | Приведенный | 2549 | 6260 | 1424 | 208 | 633 | 173 | 61,7 | 21,3 | 11,3 | 9,16 | 6,71 | 5,26 | 947 |
| 2003/04 | Фактический | 2500 | 4450 | 612 | 293 | 222 | 130 | 28,9 | 12,4 | 4,90 | 4,10 | 2,70 | 4,80 | 689 |
| k = 1,00 | Приведенный | 2505 | 4458 | 613 | 294 | 222 | 130 | 29,0 | 12,4 | 4,91 | 4,11 | 2,70 | 4,81 | 690 |
| 1945/46 | Фактический | 2150 | 1580 | 461 | 323,0 | 264 | 97,0 | 28,2 | 9,3 | 2,10 | 1,80 | 1,50 | 1,70 | 410 |
| k = 1,03 | Приведенный | 2213 | 1626 | 475 | 332 | 272 | 100 | 29,0 | 9,57 | 2,16 | 1,85 | 1,54 | 1,75 | 422 |
| 1946/47 | Фактический | 1220 | 3500 | 481 | 140 | 75,2 | 33,1 | 8,70 | 6,10 | 4,15 | 3,08 | 2,45 | 12,4 | 457 |
| k = 0,92 | Приведенный | 1126 | 3231 | 444 | 129 | 69,4 | 30,6 | 8,03 | 5,63 | 3,83 | 2,84 | 2,26 | 11,4 | 422 |

Водноэнергетический расчёт ведётся табличным балансовым способом. Основными исходными данными по календарным стоковым рядам являются:

- естественные расходы воды;
- морфометрические характеристики Вилюйского водохранилища в виде кривых зависимостей статистических площадей зеркала и объёмов от уровней воды;
- кривые связи расходов и уровней воды в верхнем и нижнем бьефах ГЭС;
- характеристика гидроагрегатов в зависимости от напора их коэффициентов полезного действия, мощностей и расходов воды, а также характеристика потерь напора [17].

Водохозяйственный расчёт проводится применительно к определённым правилам управления водными ресурсами водохранилищ, исходя из обеспечения постоянной гарантированной мощности. Гарантированная мощность для предыдущих отметок равна 380 МВт для периода сработки и 45 МВт для периода наполнения. Для новых отметок гарантированная мощность рассчитывается по формуле

$$N_{\text{ГАР}} = K_N * Q_{\text{ГАР}} * H_{\text{(нетто)}}, \quad (5.3)$$

где $N_{\text{гар}}$ – гарантированная мощность ГЭС, кВт;

$Q_{\text{гар}}$ – гарантированный расход воды, м³/с;

Коэффициент мощности равен 8,68. Гарантированный расход периода сработки равен 650 м³/с. Напор нетто в данном случае находится по разности средних уровней верхнего и нижнего бьефов. Уровень верхнего бьефа назначается в зависимости от среднего объёма наполнения (241,19 м). Уровень нижнего бьефа рассчитывается как полусумма летнего и зимнего уровней, используя кривую расходов (179,00 м). Потери напора равны 1,5 м. Таким

образом, получаем мощность, равную 342 МВт, скорректировав её величиной мощности в максимальные по нагрузке месяцы (декабрь-январь), получаем гарантированную мощность в период сработки – 325 МВт.

Гарантированная мощность в период наполнения рассчитана аналогичным способом и равна 50 МВт.

Оценивая предыдущее значение величины гарантированной мощности в период сработки и новое значение, необходимо отметить, что снижение гарантированной отдачи произошло на 15 %. В период наполнения наоборот произошло увеличение гарантированной отдачи на 10 %.

Далее табличным балансовым способом был выполнен расчёт мощности и выработки электроэнергии. Для этого использовались формулы 5.1 и 5.2. В качестве исходных данных были использованы годы-модели для различных периодов водности (таблица 5.1). Расчёт произведен для двух вариантов отметок: НПУ = 246,00 м и УЕС = 239,00 м; НПУ = 244,00 м и УЕС = 238,00 м.

Расчет вёлся по расчетным интервалам времени (месяц), последовательно от уровня ежегодной сработки (начальные условия) к концу расчетного периода (год). По значению объёма, соответствующего начальным условиям, был определён объём конечного наполнения по уравнению водного баланса, имеющего следующий вид

$$V_1^k = V_1^h + V_1^{акк} = V_1^h + (Q_1^{прит} - Q_1^{отд}) * \Delta t = V_1^h + Q_1^{акк} + \Delta t, \quad (5.4)$$

где V_1^k – объём воды в водохранилище на конец первого расчётного интервала, млн.м³;

V_1^h – объём воды в водохранилище на начало первого расчётного интервала, млн.м³;

$V_1^{акк}$ – объём аккумуляции воды в водохранилище для первого расчетного интервала, млн.м³;

$Q_1^{прит}$ – расход притока воды к водохранилищу в течении первого

- расчетного интервала, м³/с;
- $Q_1^{\text{отд}}$ – расход отдачи воды из водохранилища в течении первого расчетного интервала, м³/с;
- $Q_1^{\text{акк}}$ – расход аккумуляции воды в водохранилище в течении первого расчетного интервала, м³/с;
- Δt – расчётный интервал времени, месяц.

Для расчёта использовался расход притока с учётом потерь (на фильтрацию через сооружения, на испарение с водной поверхности водохранилища, временные потери на ледообразование).

Для энергорасчёта (мощности) использовался расход притока с учётом потерь, пропускаемый через гидроагрегаты ГЭС; если расход превышает максимальную пропускную способность ГЭС, излишки пропускают через водослив, то есть холостой сброс. В выполненных расчётах холостые сбросы присутствуют только в многоводном модельном году. В свою очередь, при оценке уровня в нижнем бьефе использовался суммарный расход воды – расход через гидроагрегаты ГЭС и расход через водосливы.

Для определения напора нетто были определены: значение уровня верхнего бьефа, которое определяется как среднее значение между уровнем на конец и на начало расчётного интервала; значение уровня нижнего бьефа, определяемое через кривую расходов воды в нижнем бьефе; значение потерь в водопроводящих сооружениях равно 1,5 м.

В результате расчётов получены водохозяйственные (объёмы и уровни водохранилища) и водноэнергетические (мощность, выработка электроэнергии) характеристики. Водохозяйственные характеристики представлены в виде графиков хода наполнения -сработки Вилюйского водохранилища в различные периоды водности на рисунках 5.1 – 5.5.

Рассматривая графики, изображенные на рисунках 5.1 и 5.2, в многоводный и средний по водности годы наполнение и сработка Вилюйского

водохранилища происходят в пределах зоны гарантированной отдачи согласно построенному диспетчерскому графику.

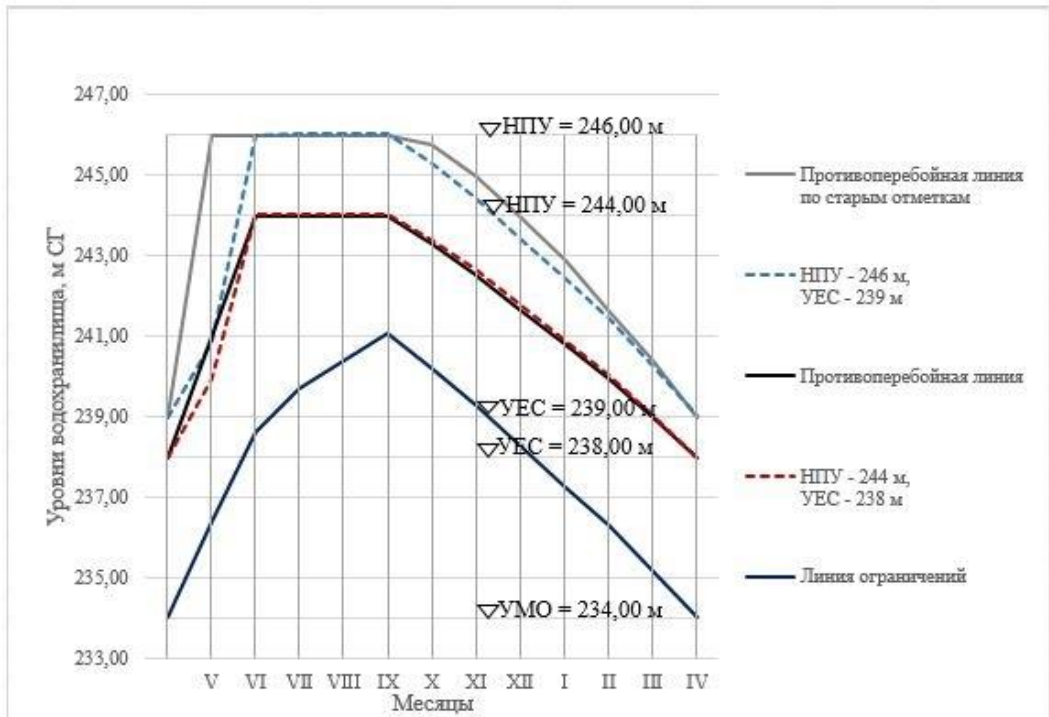


Рисунок 5.1 – График наполнения-сработки Вилюйского водохранилища за многоводный год для двух вариантов отметок НПУ и УЕС

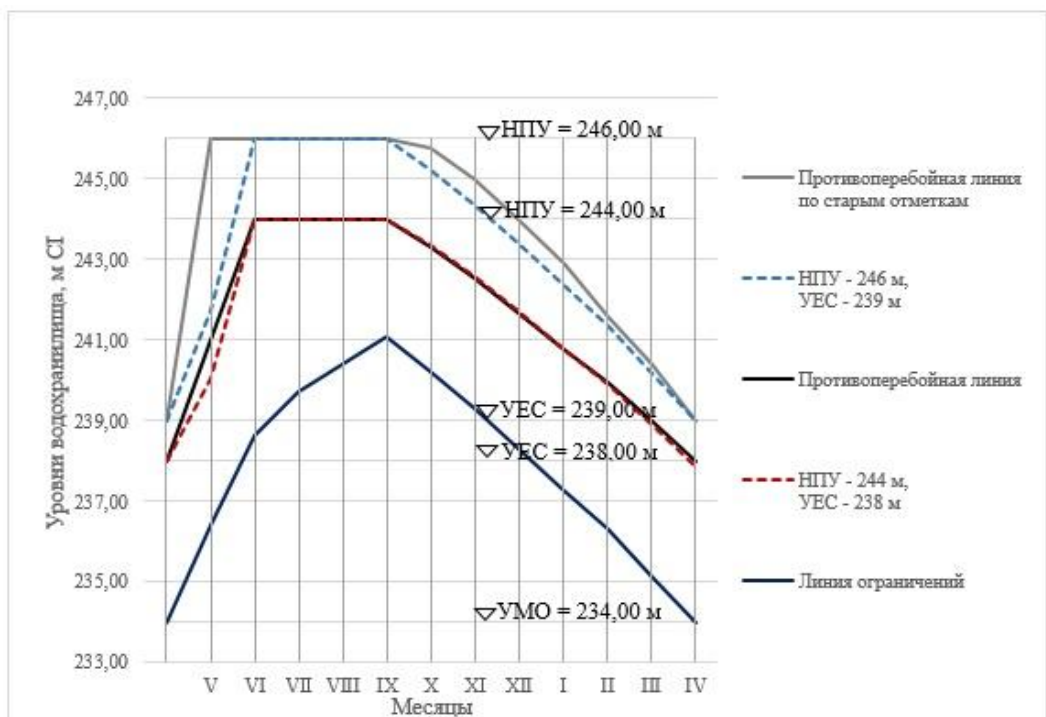


Рисунок 5.2 – График наполнения-сработки Вилюйского водохранилища за средний по водности год для двух вариантов отметок НПУ и УЭС

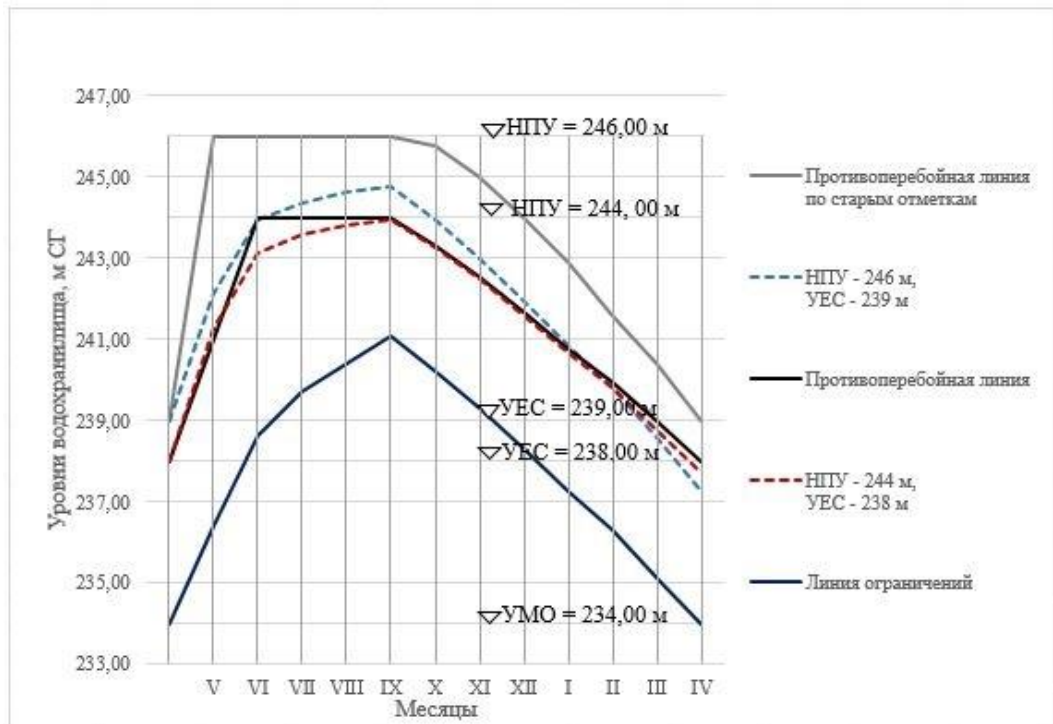


Рисунок 5.3 – График наполнения-сработки Вилюйского водохранилища за маловодный год для двух вариантов отметок НПУ и УЭС

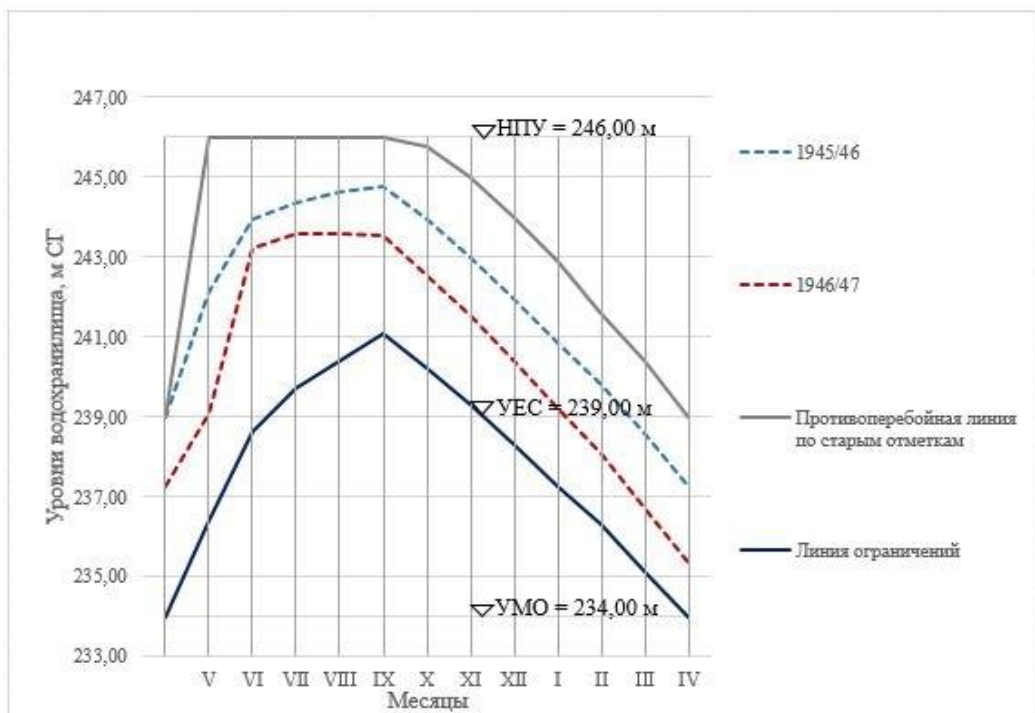


Рисунок 5.4 – График наполнения-сработки Вилюйского водохранилища за маловодную двухлетку для отметок НПУ = 246,00 и УЕС = 239,00 м

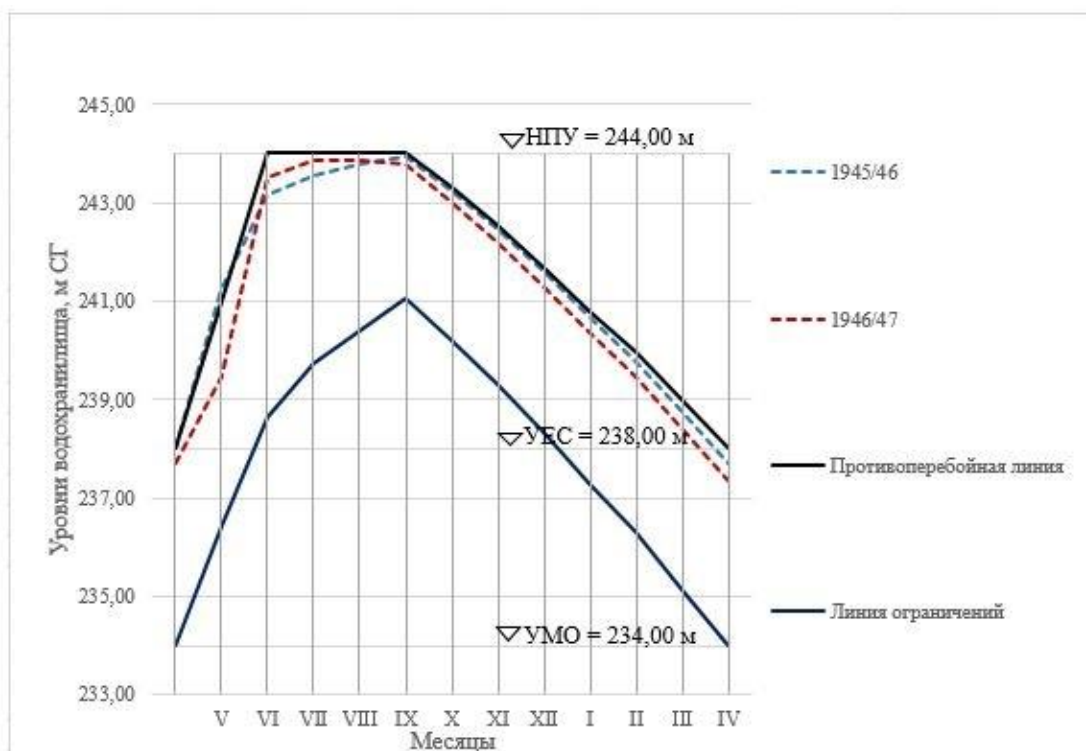


Рисунок 5.5 – График наполнения-сработки Вилюйского водохранилища за маловодную двухлетку для отметок НПУ = 244,00 и УЕС = 238,00 м

Согласно графику, изображенному на рисунке 5.3, в маловодный год наполнение и сработка Вилюйского водохранилища происходят в пределах зоны гарантированной отдачи, но в период сработки частично используется многолетняя ёмкость водохранилища, особенно ярко это выражено в расчёте для предыдущих отметок.

Рассматривая графики, изображенные на рисунках 5.4 и 5.5, в маловодное двухлетие наполнение и сработка Вилюйского водохранилища происходят в пределах зоны гарантированной отдачи, но в период сработки частично используется многолетняя ёмкость водохранилища. В расчёте, выполненном для предыдущих отметок (рисунок 5.4), происходит недозаполнение водохранилища до НПУ.

5.4 Сопоставление результатов изменения мощности

Полученные в результате расчётов водноэнергетические характеристики представлены в виде графиков мощности Вилюйских гидроэлектростанций 1,2 в различные периоды водности на рисунках 5.6 – 5.10.

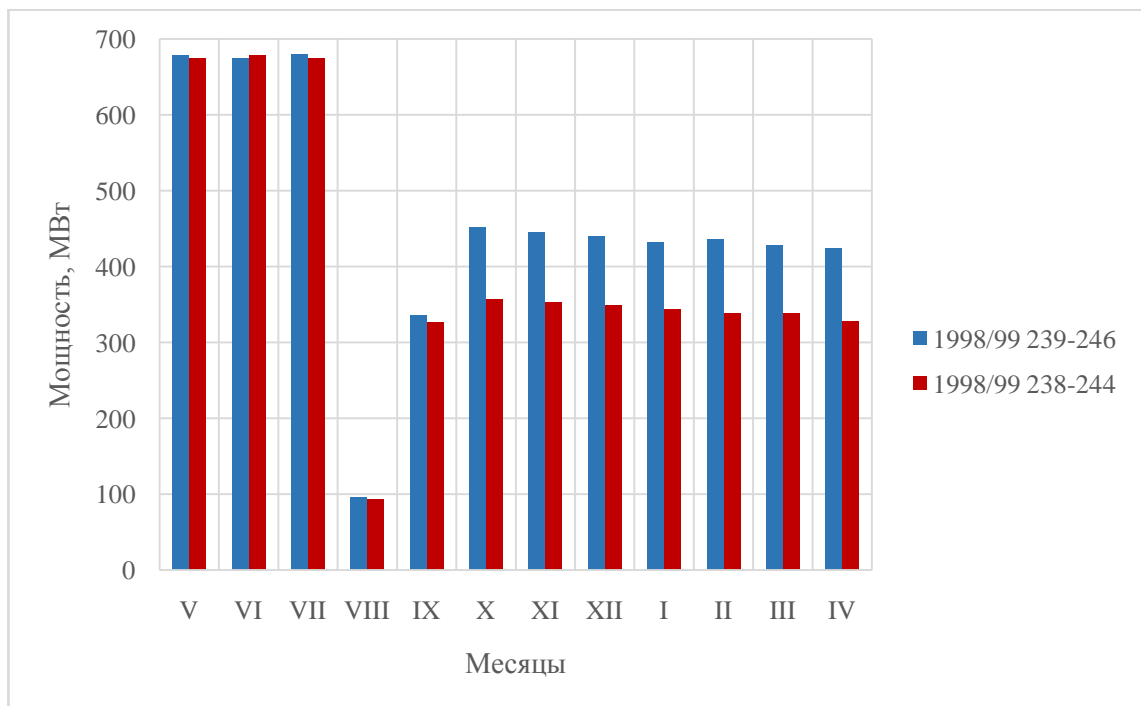


Рисунок 5.6 – График мощности Вилюйских гидроэлектростанций 1,2 за многоводный год для двух вариантов отметок НПУ и УЕС

Рассматривая график, изображенный на рисунке 5.6, в многоводный год мощности Вилюйских гидроэлектростанций 1,2 для двух вариантов отметок НПУ и УЕС отличаются лишь в период сработки, так как различна величина гарантированного расхода. В августе провал в энергоотдаче связан с тем, что сработка водохранилища ещё не начиналась, а необходимый объём уже заполнен. В таком случае режим работы водохранилища – по притоку, то есть

расход отдачи равен расходу притока и объясняется это требованиями по энергообеспечению (п.5.2).

В среднем значение мощности варьируется от 450 до 350 МВт; максимальная мощность наблюдается в период наполнения: с мая по апрель (650 МВт); минимальная – в апреле месяце 327 МВт для новых отметок и 425 МВт для предыдущих отметок.

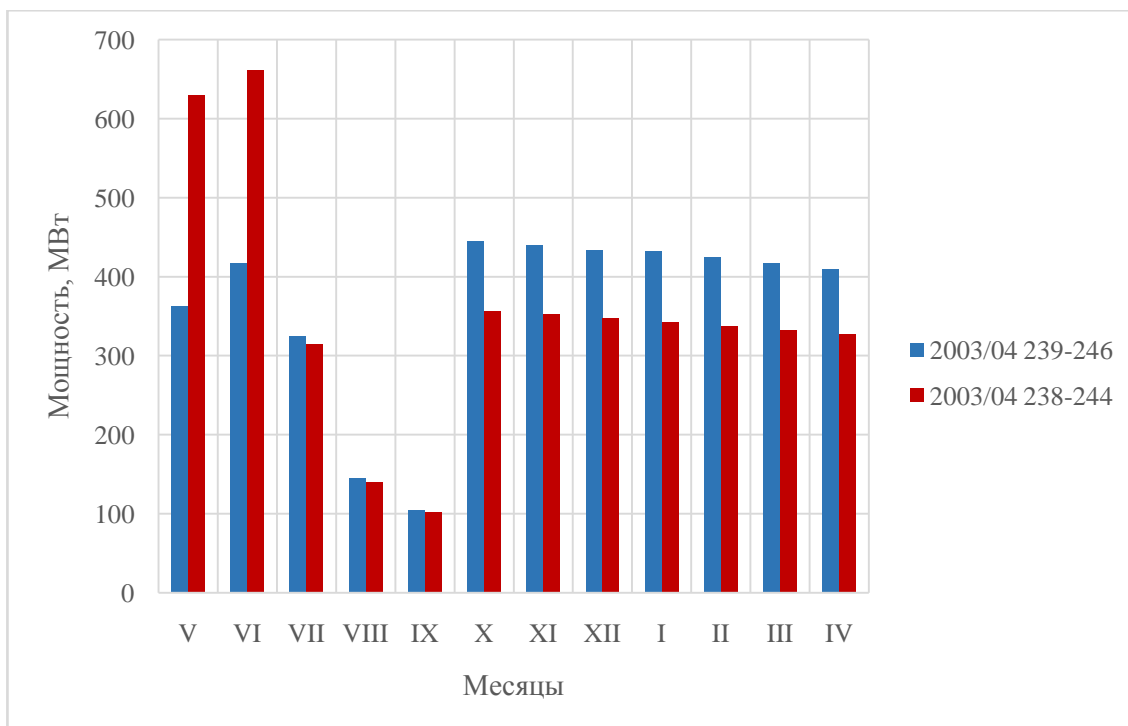


Рисунок 5.7 – График мощности Вилюйских гидроэлектростанций 1,2 за средний по водности год для двух вариантов отметок НПУ и УЭС

Согласно графику, изображенному на рисунке 5.7, в средний по водности год мощности Вилюйских гидроэлектростанций 1.2 для двух вариантов отметок НПУ и УЭС отличаются в период сработки, как и в многоводный год. В период наполнения, мощность для новых отметок увеличивается, это связано с уменьшением объёма заполнения.

В среднем значение мощности варьируется в пределах 350 МВт. Максимальная мощность для новых отметок наблюдается в июне и равна 660

МВт; минимальная – в апреле месяце, равная 326 МВт. Для предыдущих отметок значение мощности варьируется на протяжении всего года в районе 400 МВт, за исключением месяцев, когда осуществляется работа водохранилища по притоку.

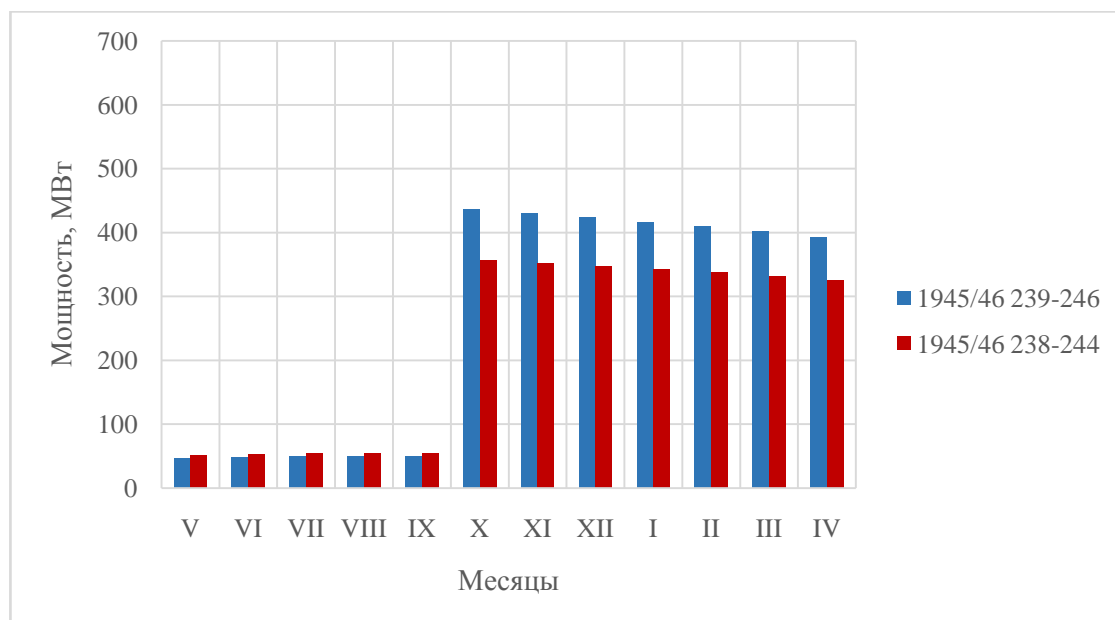


Рисунок 5.8 – График мощности Вилюйских гидроэлектростанций 1,2 за маловодный год для двух вариантов отметок НПУ и УЭС

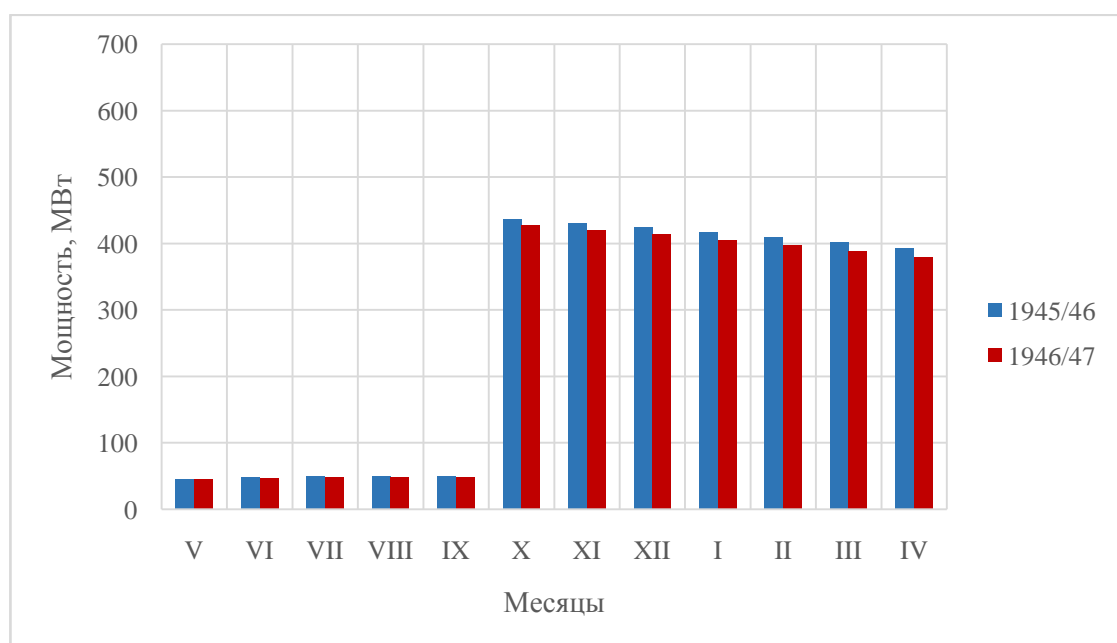


Рисунок 5.9 – График мощности Вилюйских гидроэлектростанций 1,2 за маловодную двухлетку для отметок НПУ = 246,00 и УЕС = 239,00 м

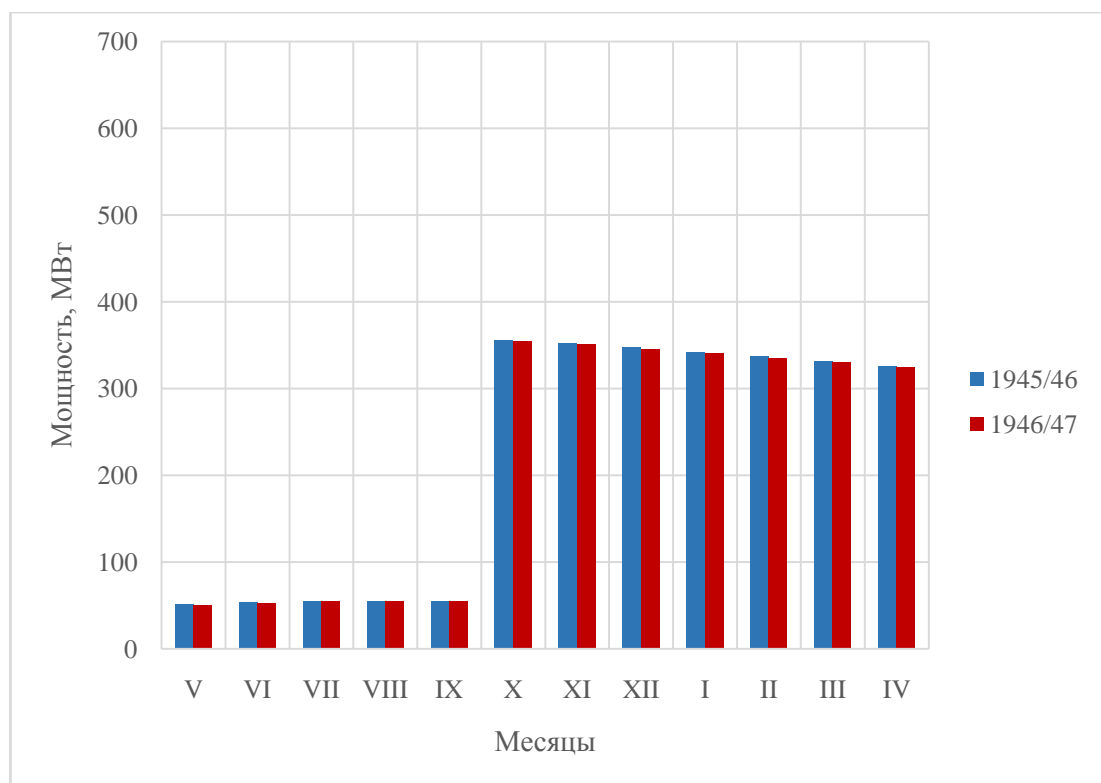


Рисунок 5.10 – График мощности Вилюйских гидроэлектростанций 1,2 за маловодную двухлетку для отметок НПУ = 244,00 и УЕС = 238,00 м

Рассматривая график, изображенный на рисунке 5.8, в маловодный год мощности Вилюйских гидроэлектростанций 1,2 для двух вариантов отметок НПУ и УЕС отличаются лишь в период сработки и значения их почти не превышают гарантированные (п.5.3).

Согласно графикам, изображенным на рисунках 5.9 и 5.10, в маловодную двухлетку мощности Вилюйских гидроэлектростанций 1,2 для двух вариантов отметок НПУ и УЕС практически не различаются. Стоит отметить, что несмотря на то, что период маловодный величина гарантированной отдачи сохраняется. Также гарантированная отдача поддерживается при снижении отметок НПУ и УЕС.

Заключение

В результате проведённых исследований, получен диспетчерский график управления работой Вилюйского водохранилища и произведена оценка энергоотдачи Вилюйского гидроузла для новых условий наполнения.

По данным среднемесячных и среднегодовых естественных расходов воды за многолетний период наблюдений были определены основные расчетные гидрологические характеристики для реки Вилюй в створе Вилюйских гидроэлектростанций 1,2 поселок Чернышевский. В том числе выполнен статистический анализ динамики многолетних рядов годового, весеннего, летне-осеннего и зимнего стока реки Вилюй, а также его внутригодового распределения.

В ходе проведённых исследований были сделаны следующие выводы: многолетние колебания стока включают в себя циклы различной водности; сток на реке Вилюй внутри года распределяется неравномерно и распределение стока внутри года практически не зависит от периода водности; однородность исследуемого ряда сохраняется даже с учетом даты смены периодов различной водности. Результатом определения расчетных гидрологических характеристик является выбор модельных лет для построения диспетчерского графика.

По новым нормативным уровням: НПУ = 244,00 м и УЕС = 238,00 м, были установлены новые параметры Вилюйского водохранилища: полезный объём и его сезонная составляющая, которые используются для ежегодного регулирования стока на реке Вилюй. Также были выполнены расчёты для вычисления гарантированных расходов воды.

Оценивая предыдущее значение величины гарантированного расхода сработки и новое значение, необходимо отметить, что снижение гарантированной отдачи в период сработки произошло на 18 %. В период наполнения наоборот произошло увеличение гарантированной отдачи на 10 %.

Регулирование энергоотдачи Вилюйских ГЭС-1,2 ведется полезной емкостью водохранилища, в соответствии с диспетчерским графиком его работы. Годовое электропотребление в Западно-Якутском энергетическом районе распределяется по сезонам крайне неравномерно, доля зимней составляющей в два с половиной раза больше летней. Летние ограничения нагрузок приводят к значительным холостым сбросам воды в период весеннего половодья и летне-осенних дождевых паводков.

Выполняя водноэнергетические расчёты, была произведена оценка изменения мощности, определены значения гарантированной отдачи Вилюйскими гидроэлектростанциями 1,2 при щадящем режиме наполнения для условий различной водности.

Оценивая предыдущее значение величины гарантированной мощности в период сработки и новое значение, необходимо отметить, что снижение гарантированной отдачи произошло на 15 %. В период наполнения наоборот произошло увеличение гарантированной отдачи на 10 %.

В результате оценки изменения мощности в зависимости от периодов различной водности, можно сделать вывод, что даже в маловодный период величина гарантированной отдачи сохраняется. Также гарантированная отдача поддерживается при снижении отметок НПУ и УЭС.

Результаты выполненного исследования предназначены для практического использования специалистами, которые занимаются эксплуатацией Вилюйского водохранилища и Вилюйских ГЭС-1,2, определяющих режим наполнения и сработки водохранилищ, устанавливающих режим отдачи энергии гидроэлектростанциями, а также при планировании возможностей энергетического обеспечения экономического развития Республики Саха. Исследования могут быть использованы при оценке современного состояния объектов исследования, то есть реки Вилюй, водохранилища и каскада гидроэлектростанций, и при изучении проблем в области водного хозяйства и регулирования речного стока водохранилищами.

Список использованной литературы

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 17. Лено-Индигирский район. [текст] – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 649 с.
2. Реки и озера Якутии. Краткий справочник [текст] / С. К. Аржакова [и др.]; под ред. В.И. Агеева. – Якутск: Бичик, 2007. – 136 с.
3. Расчёт обоснования перехода на шадящий режим эксплуатации сооружений гидроузла КВГЭС с понижением отметки наполнения водохранилища до 244,00 СГ [текст] / [№ 1621-41-ТЭО] // СПб.: Ленгидропроект. – 2011.
4. Правила использования водных ресурсов водохранилищ каскада Виллойских ГЭС-1,2 и 3 на реке Виллой [текст] / [№ 1329-1-17тк1] // СПб.: Ленгидропроект. – 2009.
5. Гидрологический ежегодник. Том 8. Бассейны морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского. Выпуск 0-7 [текст] – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 250 с.
6. Иманов Ф. А. Многолетние колебания максимального стока горных рек [текст] / Ф. А. Иманов, Н. И. Гасанова // Ученые записки № 9. СПб.: изд. РГГМУ, 2009. С. 40-46
7. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик [текст]. М.: ГОССТРОИ России, 2004. – 75 с.
8. Сикан А. В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации [текст] / А. В. Сикан. – СПб.: изд – во РГГМУ, 2007. – 279 с.
9. Сикан А. В. Влияние изменения климата на водный режим рек южной и восточной частей Республики Беларусь [текст] / А. В. Сикан, О.В. Байдук // Ученые записки № 40. СПб.: изд. РГГМУ, 2015. С. 61-70
10. Водный Кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ (ред. от 31.10.2016) [текст]. М.: Проспект, Кнорус, 2016. – 48 с.

11. Крицкий С.Н. Водохозяйственные расчеты [текст] / С. Н. Крицкий, М. Ф. Менкель. – Л.: Гидрометеиздат, 1952. – 392 с.
12. Бахтиаров В.А. Водное хозяйство и водохозяйственные расчеты [текст] / В. А. Бахтиаров. – Л.: Гидрометеиздат, 1961. – 432 с.
13. Плешков Я.Ф. Регулирование речного стока (водохозяйственные расчеты) [текст] / Я. Ф. Плешков. – Л.: Гидрометеиздат, 1961. – 397 с.
14. Арсеньев Г.С. Водное хозяйство и водохозяйственные расчеты [текст] / Г. С. Арсеньев, А. Г. Иваненко. – СПб.: Гидрометеиздат, 1993. – 272 с.
15. Методические указания по разработке правил использования водохранилищ от 26.01.2011 № 17 [текст] // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2009. – № 18. – Ст. 2247
16. Резниковский А. Ш. Диспетчерские правила управления режимами водохранилищ [текст] / А. Ш. Резниковский, М. И. Рубинштейн. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 105 с.
17. Арсеньев Г.С. Практикум по водному хозяйству и водохозяйственным расчетам [текст] / Г.С. Арсеньев. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 195 с.

