

УДК 502/504:532.5

**АЛИ МУНЗЕР СУЛЕЙМАН, Д.С. БЕГЛЯРОВ**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва**МОДЕЛЬ РАСЧЕТНОГО ОБОСНОВАНИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДА В КАСКАДЕ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ПУТЕМ ДРОССЕЛИРОВАНИЯ НАПОРА**

*В статье приводится описание разработанной методики расчета и алгоритм, позволяющий проводить расчеты по регулированию расхода в каскаде насосных станций путем дросселирования напора. Опыт эксплуатации насосных станций показывает [1], что основные повреждения и аварии насосных агрегатов происходят при переходных процессах, пусках и остановках, которые в соответствии с графиком работы могут назначаться по несколько раз в сутки, а также при аварийном отключении электродвигателей от энергосистемы. Поэтому при проектировании насосных станций необходимо комплексно учитывать работу напорного тракта и технологического оборудования и назначать схемы и состав сооружений, основываясь на расчетах и анализе переходных процессов с учетом статических и динамических характеристик насосов и электродвигателей. Целью исследований является разработка рекомендаций по проектированию каскадов оросительных насосных станций, работающих по последовательной схеме без промежуточной емкости, касающихся определения параметров напорной системы и противоударных устройств. Для достижения поставленной цели необходимо решить задачу регулирования расхода в каскаде путем дросселирования напора.*

*Каскад насосных станций, напор, расход, коэффициент гидравлического сопротивления, дроссельные регулирующие устройства, переходные процессы.*

**Введение.** В каскаде работают две насосные станции без промежуточного бассейна с двумя дроссельными регулирующими устройствами на каждой ступени подъема.

Рассматриваются две схемы увеличения напора во всасывающих патрубках насосов второй ступени: симметричная и несимметричная.

Несмотря на значительное число работ, посвященных насосам и насосным станциям, в технической литературе известны только несколько работ, в которых нашли отражения все эти вопросы для каскадов насосных станций без промежуточной емкости.

**Материалы и методы исследований.** Схема двухступенчатого водоподъема без промежуточной емкости у второй ступени принимается по следующим причинам:

- ввиду стесненных рельефных и, как правило, сложных геологических условий, исключающих размещение регулирующей емкости и затрудняющих устройство сброса у второй ступени подъема;

- ввиду необходимости по условиям эксплуатации и энергосбережения компенсировать различие в характеристиках насосов обеих станции их саморегулированием.

Схема работы основного оборудования «Насос в насос» без промежуточного регули-

рующего бассейна обуславливает работу обеих станций в одинаковом режиме. При изменении напора и расхода автоматически без вмешательства персонала устанавливается новый режим работы насосов.

Двухступенчатые каскады насосных станций (НС) без промежуточного бьефа между ступенями подъема имеют две основные особенности по сравнению с каскадами с промежуточным бьефом, которые осложняют их проектирование и эксплуатацию.

Первая особенность связана с затруднениями, вызванными необходимостью обеспечения в установившихся и переходных режимах определенного диапазона изменения движения на входе насосов второй ступени, ограниченного, с одной стороны, условием бескавитационной работы насосов, с другой стороны – величиной допустимого давления.

Вторая особенность обусловлена более сложным характером протекания переходных процессов, большим количеством расчетных возмущений, способных вызвать опасные изменения давления в напорной системе, и связанной с этим недостаточной разработанностью методов расчета этих процессов.

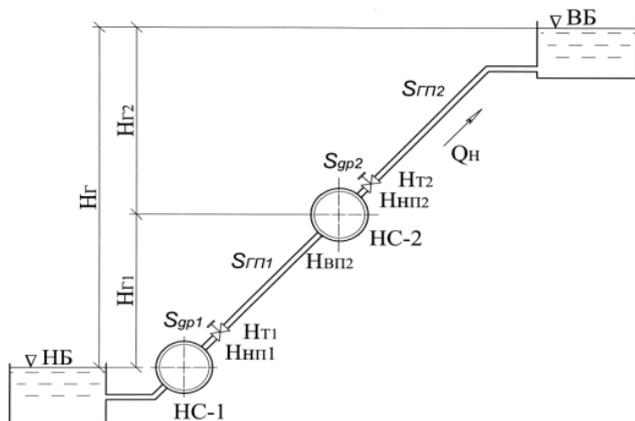


Рис. Схема двухступенчатого каскада насосных станций без промежуточной емкости

Составим следующие уравнения баланса напоров в каскаде из 2-х НС без промежуточного бассейна с двумя дроссельными регулирующими устройствами на каждой ступени подъема (рис. 1):

$$H_n = H_{н1} = H_{н2} = S_0 + S_1 \cdot Q_n + S_2 \cdot Q_n^2, \quad (1)$$

$$H_{н2} = H_{нп2} - H_{вп2}, \quad (2)$$

$$H_{Г2} = H_z + S_{з2} \cdot Q_n^2, \quad (3)$$

$$H_{г1} = H_{вп2} + S_{гп1} \cdot Q_n^2, \quad (4)$$

$$H_{Г1} = H_{н1} + S_{гп1} \cdot Q_n^2, \quad (5)$$

$$H_{Г2} = H_{нп2} - S_{gp2} \cdot Q_n^2, \quad (6)$$

где  $H_{н1}$  и  $H_{н2}$  – напоры насосов на НС-1 и НС-2;  $H_{нп2}$  и  $H_{вп2}$  – напор в напорном и всасывающем патрубках насоса 2-й ступени, м;  $H_z$  – геодезический напор, м;  $H_{г1,2}$  – напор в начале трубопроводов 1-й и 2-й ступеней, м;  $S_{gp1,2}$  – коэффициенты гидравлический сопротивлений дроссельных регулируемых устройств, зависящие от положения регулирующих органов  $c^2/m^5$ ;  $S_0, S_1, S_2$  – эмпирические коэффициенты [2];  $Q_n$  – расход насоса,  $m^3/c$ .

Исключая из уравнений (1...6) все переменные, кроме  $Q_n$ , получим следующее уравнение:

$$(S_{зн1} + S_{зн2} + S_{gp1} + S_{gp2} - S_2) \cdot Q_n^2 - 2S_1 Q_n + H_z - 2S_0 = 0. \quad (7)$$

Из уравнения (7) следует, что расход в каскаде НС зависит от суммы коэффициентов гидравлических сопротивлений дроссельных регулируемых устройств ( $S_{gp1} + S_{gp2}$ ), т.е. расход можно регулировать любым из двух дроссельных устройств либо обоими одновременно.

Решая уравнение (7), получим

$$Q_n = \frac{S_1 + \sqrt{S_1^2 - (S_{зн1} + S_{зн2} + S_{gp1} + S_{gp2} - S_2) \cdot (H_z - 2S_0)}}{S_{зн1} + S_{зн2} + S_{gp1} + S_{gp2} - S_2}. \quad (8)$$

При полностью открытых регулирующих органах ( $S_{gp1} \approx S_{gp2} = 0$ ) расход в каскаде насосных станций вычисляется по формуле:

$$Q_{н0} = \frac{S_1 + \sqrt{S_1^2 - (S_{зн1} + S_{зн2} - S_2) \cdot (H_z - 2S_0)}}{S_{зн1} + S_{зн2} - S_2}. \quad (9)$$

При регулировании расхода в системе изменяются напоры. Рассмотрим два случая.

1. Расход регулируется дроссельным устройством на первой ступени каскада. Дроссельное устройство на второй ступени находится в открытом положении. При этом можно принять  $S_{gp2} = 0$ .

Из уравнений (1...6) имеем

$$H_{вп2} = \frac{H_z}{2} + \frac{S_{зн2} - S_{зн1} - S_{gp1}}{2} \cdot Q_n^2, \quad (10)$$

где  $H_{вп2}$  – напор во всасывающем патрубке насоса второй ступени.

Из уравнения (10) следует, что при полностью открытом дросселирующем устройстве ( $S_{gp1} = 0$ )

$$H_{вп2} = \frac{H_z}{2} + \frac{S_{зн2} - S_{зн1}}{2} \cdot Q_n^2. \quad (11)$$

В симметричной гидравлической схеме ( $S_{гп1} = S_{гп2}$ ,  $H_{вп2} = H_z/2$ ,  $S_{gp1} = 0$ )

$$H_{вп2} = \frac{H_z}{2} + \frac{S_{gp1}}{2} \cdot Q_n^2 \text{ при } S_{gp1} > 0$$

Таким образом, в симметричной гидравлической схеме закрытие дросселирующего органа на первой ступени уменьшает расход воды в каскаде и напор во всасывающих патрубках насосов второй ступени на величину половины потерь в дросселирующем органе [3].

Если  $S_{гп1} \neq S_{гп2}$ , то изменение напора во всасывающих патрубках насосов второй ступени в результате частичного закрытия дросселирующего устройства вычисляется по формуле:

$$\Delta H_{вп2} = H_{вп2,0} - H_{вп2} = \frac{S_{зн2} - S_{зн1}}{2} \cdot (Q_{н0}^2 - Q_n^2) + \frac{S_{gp1}}{2} \cdot Q_n^2, \quad (12)$$

где  $H_{вп2}$  и  $Q_{н0}$  – напор и расход при  $S_{gp1} > 0$ .

Из уравнения (12) следует, что в несимметричной схеме уменьшение напора

во всасывающих патрубках насосов второй ступени отличается от величины половины гидравлических потерь в дросселирующем устройстве на величину

$$\Delta H_{en2} = \frac{S_{zn2} - S_{zn1}}{2} \cdot (Q_{n0}^2 - Q_n^2). \quad (13)$$

2. Расход регулируется дроссельным устройством по второй ступени. В этом случае  $S_{gp1} = 0$ .

Из уравнений (1...6) имеем:

$$H_{en2} = \frac{H_z}{2} + \frac{S_{zn2} - S_{zn1} + S_{gp2}}{2} \cdot Q_n^2. \quad (14)$$

В симметричной схеме ( $S_{gp1} = S_{gp2}$ ) имеем:

$$H_{en2} = \frac{H_z}{2} + \frac{S_{gp2}}{2} \cdot Q_n^2. \quad (15)$$

Таким образом, в симметричной гидравлической схеме закрытие дросселирующего органа на второй ступени уменьшает напор во всасывающих патрубках второй ступени на величину половины потерь в дросселирующем устройстве.

В несимметричной схеме при полностью открытом дросселирующем органе ( $S_{gp2} \approx 0$ )

$$H_{en2,0} = \frac{H_z}{2} + \frac{S_{zn2} - S_{zn1}}{2} \cdot Q_{n0}^2. \quad (16)$$

Вычитая из уравнения (16) уравнение (14), получим

$$\Delta H_{en2} = H_{en2,0} - H_{en2} = \frac{S_{zn2} - S_{zn1}}{2} \cdot (Q_{n0}^2 - Q_n^2) - \frac{S_{gp2}}{2} \cdot Q_n^2. \quad (17)$$

Из уравнения (17) следует, что в несимметричной схеме увеличение напора во всасывающих патрубках второй ступени отличается от величины половины гидравлической потерь в дросселирующем устройстве на величину  $\Delta H_{en2}$ .

#### ALI MUNZER SULEIMAN, D.S. BEGLYAROV

Federal state budget educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow

## MODEL OF CALCULATION SUBSTANTIATION OF FLOW CONTROL IN A CASCADE OF PUMPING STATIONS BY THROTTLING PRESSURE

*The article describes the developed method of calculation and an algorithm allowing carrying out calculations on flow control in a cascade of pumping stations by throttling pressure. The operating experience of pumping stations shows [1] that major damages and accidents of pump aggregates happen during transient processes, start-up and stops which in accordance*

### Выводы

1. При введении дросселирования напора на первой ступени напор во всасывающих патрубках насосов второй ступени уменьшается, а при введении дросселирования напора на второй ступени – увеличивается на величину, равную половине потерь напора дросселирующем устройстве.

2. В качестве дросселирующего устройства можно использовать напорные задвижки насосов и байпасную линию к напорной задвижке насосного агрегата. Недостатком дроссельного регулирования подачи является дополнительный расход энергии, затрачиваемой на компенсацию гидравлических потерь в дроссельной задвижке.

### Библиографический список

1. Бегляров Д.С. Повышение надежности и эффективности работы закрытых оросительных систем. – М.: МГУП, 1996. – 140 с.
2. Подволоцкий Н.М. Аналитическое описание универсальных характеристик судовых насосов // Эксплуатация морского транспорта. – 2013. – № 1 (71). – С. 51-57.
3. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления трубопроводов. – М.: Недра, 1982. – 224 с.

Материал поступил в редакцию 02.11.2016 г.

### Сведения об авторах

**Али Мунзер Сулейман**, кандидат технических наук, доцент кафедры сельскохозяйственного водоснабжения и водоотведения; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: 8-499-391-12-07; e-mail: munzer@yandex.ru

**Бегляров Давид Суренович**, доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственного водоснабжения и водоотведения; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: 8-499-976-11-85.

*with the work schedule can be assigned several times a day, as well as under emergency shutdown of electric engines from the power system. Therefore, when designing pumping stations it is necessary to comprehensively take into account the work of the pressure tract and technological equipment and to assign schemes and structures on the basis of calculations and analysis of transient processes with an allowance to static and dynamic characteristics of pumps and electric motors. The aim of investigations is developing recommendations for designing cascades of irrigation pumping stations operating in series without an intermediate capacity which relate to the definition of parameters of the pressure system and shockproof devices. To achieve this aim it is necessary to solve the problem of flow control in the cascade by throttling pressure.*

*Cascade of pumping stations, pressure, flow, hydraulic resistance coefficient, throttle adjusting devices, transient processes.*

### Reference

1. Beglyarov D.S. Povyshenie nadezhnosti I effektivnosti raboty zakrytyh orositelnykh system. – M.: MGUP, 1996. – 140 s.
2. Podvolotskij N.M. Analitichskoe opisanie universalnykh harakteristik sudovykh nasosov // Ezpluatatsiya morskogo transporta. – 2013. – № 1 (71). – S. 51-57.
3. Aljtshul A.D. Gidravlicheskie soprotivleniya truboprovodov. – M.: Nedra, 1982. – 224 s.

The material was received at the editorial office  
02.11.2016

### Information about the authors

**Ali Munzer Suleiman**, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of agricultural water supply and drainage FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Timiryazeva, 49; tel.: 8-499-391-12-07; e-mail: munzer@yandex.ru

**Beglyarov David Surenovich**, doctor of technical sciences, professor of the chair of agricultural water supply and drainage FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Timiryazeva, 49; tel.: 8-499-976-11-85.