

Считаем, что экономически оправдано и целесообразно устанавливать средний уровень процентной ставки по краткосрочным кредитам в растениеводстве в размере 3% годовых, а в животноводстве выдавать беспроцентный кредит сроком на 5 лет, что позволит создать устойчивую базу для производства конкурентоспособной сельскохозяйственной продукции.

Предлагаемые подходы к системе кредитования сельских товаропроизводителей позволяют решить следующие проблемы:

- стимулировать экономический рост аграрного производства;
- повысить доходы сельскохозяйственных организаций и непосредственно их работников;
- создать условия для производства конкурентоспособной сельскохозяйственной продукции, что весьма важно в рыночных отношениях.

Список использованной литературы

1. О некоторых мерах по формированию, финансированию, выполнению государственных программ и оценке их эффективности: постановление Совета министров Респ. Беларусь, 29 февр. 2016 г., № 167 // КонсультантПлюс: Версия Проф. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр», Нац. Центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2016.

2. О финансировании мероприятий Государственной программы развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы и ее подпрограмм: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 20 апр. 2016 г., № 321 // КонсультантПлюс: версия проф. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр», Нац. Центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2016.

УДК 628.1

Матвейчук Н.М., канд.ф.-м. наук., Мизюрин А.О.

Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ПРИВОДА В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ключевые слова: система водоснабжения, энергоэффективность, частотно-регулируемый привод, система автоматического регулирования, уровень воды.

Аннотация: В работе рассмотрена система водоснабжения жилого поселка из артезианской скважины. Произведено сравнение энергоэффективности различных схем водоснабжения: без использования и с использованием водонапорной башни, для обеих схем рассмотрено применение частотно-регулируемого привода насоса. Расчеты производились на основе данных водопотребления жилого поселка за трое последовательных суток. Получено, что использование водонапорной башни позволяет экономить в среднем до 32,18% электроэнергии по сравнению с регулированием водоподачи дросселированием в системе без промежуточных накопите-

лей. Использование частотно-регулируемого привода позволяет экономить в среднем до 68,66% электроэнергии в схеме без водонапорной башни и до 53,88% электроэнергии при использовании водонапорной башни. Для схемы с использованием водонапорной башни и частотно-регулируемого привода разработана структурная схема системы стабилизации уровня воды в баке. Определены оптимальные значения параметров ПИД-регулятора, позволяющие обеспечить высокое качество водоснабжения потребителей.

Энергоэффективность и энергосбережение входят в список приоритетных направлений развития науки, технологий и техники РФ. Применение частотно-регулируемого привода даёт значительные преимущества: позволяет обеспечить бесперебойное водоснабжение, безопасные условия эксплуатации, снижение затрат электроэнергии, повышение качества и надёжность подачи воды потребителям и увеличивает срок службы оборудования. Целью работы является минимизация энергозатрат в технологических процессах АПК путем реализации энергоэффективных режимов частотно-регулируемых электроприводов.

Система водоснабжения жилого поселка. В работе рассматривается система водоснабжения жилого поселка. Режимы работы насосной установки зависят от изменения водопотребления потребителей. Характер изменения водопотребления определяется многими, не зависящими друг от друга, причинами: климатическими и погодными условиями, режимом работы предприятий и организаций населённого пункта и др. Для приведения режима работы насосной установки в соответствие с изменяющимся режимом работы системы необходимо изменение подачи и напора насосов, что можно сделать несколькими способами [1].

Подача насосных установок, работающих непосредственно в сеть без промежуточных ёмкостей (например, водонапорной башни), должна быть в каждый момент времени равна водопотреблению (при отсутствии утечек и непроизводительных расходов). В этом случае центробежные насосы регулируются изменением степени открытия задвижки (затвора) на напорной линии (дресселированием), при этом насосный агрегат работает постоянно и потребляет номинальную мощность. Регулирование путем дресселирования считается неэкономичным, так как на преодоление дополнительного гидравлического сопротивления в затворе требуются дополнительные затраты энергии, которая переходит в тепловые потери. При этом закрытая задвижка является причиной увеличения давления на выходе насоса, что ведет к уменьшению срока службы запорных устройств и уплотнений и к увеличению утечек воды.

Режим работы насосной установки, подающей воду потребителю через аккумуляторную ёмкость (резервуар, водонапорную башню и т. п.), характерен тем, что в отдельные периоды времени подача насосной установки отличается от водопотребления. В этом случае регулирование осуществляется периодическим включением и выключением насосного агрегата также на полную мощность. Следствием частого включения и выключения насосных агрегатов являются гидравлические удары в системе, которые приводят к быстрому износу оборудования.

Более экономичным способом регулирования является изменение частоты вращения насосов в соответствии с изменением расхода воды путем использования частотно-регулируемого привода. При этом насосный агрегат работает посто-

янно, но с переменной производительностью. С помощью частотного регулирования осуществляется непрерывное изменение производительности, сопровождающееся меньшими энергетическими затратами. При этом недостатком является высокая стоимость оборудования.

Энергопотребление насосных установок. Проведем сравнение энергоэффективности различных способов регулирования режимов работы насосной установки.

Мощность, потребляемая насосом, кВт, определяется по формуле [1]:

$$N = 9,81 \frac{Q \cdot H}{\eta_H} \quad (1)$$

где Q — подача, м³/с; H — напор, м; η_H — КПД насоса. Для современных насосных агрегатов в зависимости от их мощности, назначения и других факторов значение КПД варьируется в пределах от 0,3 до 0,9.

Мощность, потребляемая насосным агрегатом, кВт,

$$P = \frac{N}{\eta_{ЭД}} \quad (2)$$

где $\eta_{ЭД}$ — КПД электродвигателя.

Количество электроэнергии, потребляемой агрегатом за время t , при работе с постоянной подачей и неизменным давлением, равно:

$$W = Pt \quad (3)$$

где t — время работы, ч.

Рассчитаем потери при дросселировании: уменьшение расхода воды на ΔQ при постоянной мощности насоса приводит к увеличению напора на величину ΔH таким образом, чтобы выполнялось соотношение

$$N = 9,81 \frac{(Q - \Delta Q) \cdot (H + \Delta H)}{\eta_H} \quad (4)$$

Отсюда с использованием (1) получаем, что значение ΔH равно

$$\Delta H = \frac{\Delta Q \cdot H}{Q - \Delta Q} \quad (5)$$

Тогда количество энергии, приходящееся на потери (т.к. насос работает в номинальном режиме при максимальной производительности) можно рассчитать по следующей формуле:

$$\Delta W = \Delta P \Delta t = \frac{\Delta N}{\eta_{ЭД}} \Delta t = 9,81 \frac{Q \cdot \Delta H}{\eta_H \cdot \eta_{ЭД}} \Delta t = 9,81 \frac{Q \cdot \Delta Q \cdot H}{\eta_H \cdot \eta_{ЭД} (Q - \Delta Q)} \Delta t \quad (6)$$

где Δt — время работы при измененной производительности, ч.

Пусть весь промежуток работы насоса разбит на n участков длиной Δt_i , $i = 1, \dots, n$, при этом на каждом из участков производительность можно приближенно считать постоянной и равной $Q - \Delta Q_i$. Получаем:

$$\Delta W = 9,81 \frac{Q}{\eta_H \cdot \eta_{ЭД}} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Q_i \Delta t_i}{(Q - \Delta Q_i)} \quad (7)$$

При этом общий расход электроэнергии за все время t , потребляемой насосным агрегатом, вычисляется по формуле

$$W = Pt = \frac{N}{\eta_{ЭД}} t = 9,81 \frac{Q \cdot H}{\eta_H \cdot \eta_{ЭД}} t \quad (8)$$

Рассмотрим следующий вариант – работа насоса в режиме периодического включения и выключения. Пусть в течение каждого из периодов длины Δt_i , $i = 1, \dots, n$, расход воды постоянен. Время работы насоса в каждом периоде (при максимальной производительности) равно

$$\Delta t_i' = \frac{Q - \Delta Q_i}{Q} \Delta t_i \quad (9)$$

Получаем:

$$\begin{aligned} W' &= P \sum_{i=1}^n \Delta t_i' = \frac{N}{\eta_{ЭД}} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{Q - \Delta Q_i}{Q} \Delta t_i = \\ &= 9,81 \frac{Q \cdot H}{\eta_H \cdot \eta_{ЭД}} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{Q - \Delta Q_i}{Q} \Delta t_i = \frac{9,81 H}{\eta_H \cdot \eta_{ЭД}} \cdot \sum_{i=1}^n (Q - \Delta Q_i) \Delta t_i \end{aligned} \quad (10)$$

Рассмотрим теперь потребление электроэнергии с использованием частотно-регулируемого привода. В этом случае насос работает непрерывно, поэтому приведенные расчеты справедливы для обоих вариантов системы водоснабжения. Изменение частоты вращения рабочего колеса насоса ведет к изменению всех его рабочих параметров. При этом справедлива следующая формула приведения:

$$\frac{N'}{N} = \left(\frac{Q - \Delta Q}{Q} \right)^3 \quad (11)$$

где N' – потребляемая насосом мощность при измененной частоте вращения рабочего колеса насоса.

Количество электроэнергии за весь промежуток работы насоса равно

$$\tilde{W} = \sum_{i=1}^n P_i' \Delta t_i = \frac{\sum_{i=1}^n N_i' \Delta t_i}{\eta_{ЭД}} = \frac{N}{\eta_{ЭД}} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{Q - \Delta Q_i}{Q} \right)^3 \Delta t_i = 9,81 \frac{Q \cdot H}{\eta_H \cdot \eta_{ЭД}} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Q - \Delta Q_i}{Q} \right)^3 \Delta t_i \quad (12)$$

Рассчитаем соотношение энергопотребления при различных способах регулирования работы насосного агрегата на примере водоснабжения жилого поселка. На ри-

сунке 1 представлен примерный суточный график водопотребления небольшого населённого пункта в течение трех дней (измерения проводились каждые 30 мин) [1].

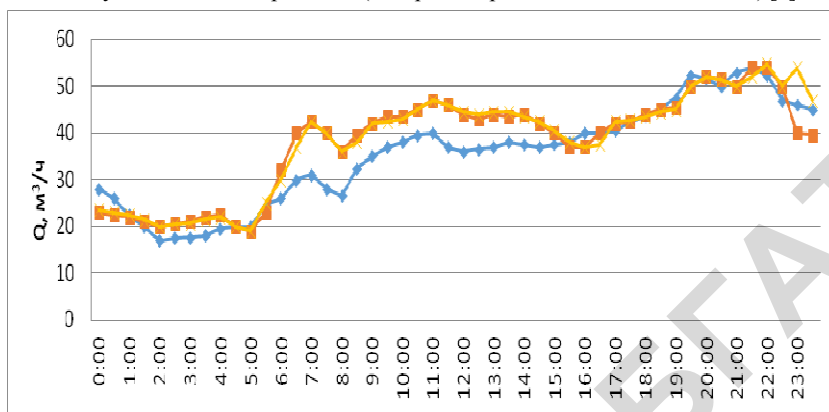


Рисунок 1. Суточные графики водопотребления за трое суток

Рассчитаем по вышеприведенным формулам количество энергии в сутки, затрачиваемое при дросселировании W , периодическом включении насоса W' и использовании частотно-регулируемого привода \tilde{W} , и потери при дросселировании ΔW , для экспериментальных данных, считая потребление воды постоянным в течение каждых 30 мин. Полученные результаты сведем в следующую таблицу:

Таблица 1. Определение энергоэффективности.

Сутки	1-е	2-е	3-е	Среднее
W , кВт·ч	335,720	335,720	335,720	335,720
ΔW , кВт·ч	198,7557	202,3926	247,4856	216,2113
W' , кВт·ч	234,5208	232,460,7	216,0816	227,6877
\tilde{W} , кВт·ч	113,5192	109,9891	92,13783	105,2154
$\Delta W/W$, %	59,2%	60,29%	73,72%	64,40%
$(W - W')/W$, %	30,14%	30,76%	35,64%	32,18%
$(W - \tilde{W})/W$, %	66,19%	67,24%	72,56%	68,66%
$(W' - \tilde{W})/W'$, %	51,59%	52,68%	57,36%	53,88%

При расчетах использовались следующие показатели работы насосного агрегата: $Q = 55 \text{ м}^3/\text{ч}$, $H = 21 \text{ м}$, КПД $\eta = 0,9$.

Таким образом, потери электроэнергии при дросселировании составляют около 60-65%. Схема с водонапорной башней и периодическим включением насоса позволяет экономить до 30-35% электроэнергии. Применение частотно-регулируемого привода является в среднем на 68% эффективнее, чем дросселирование, и на 50-55% эффективнее, чем периодическое включение-выключение насоса.

Система автоматической стабилизации уровня воды в водонапорной башне. Построим математическую модель резервуара (рисунок 2). Рассматриваются следующие сигналы: N – мощность насоса (управляющее воздействие); Δz -

уровень воды в резервуаре (управляемая величина); Q - расход воды потребителями (возмущающее воздействие).

Управляемой величиной выбран уровень воды, поскольку стабилизация уровня воды в водонапорной башне обеспечивает постоянное давление, что повышает качество водоснабжения потребителей.

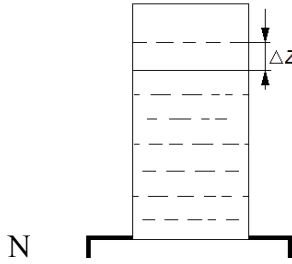


Рисунок 2. Объект регулирования уровня воды в баке

Рассмотрим линеаризованные дифференциальные уравнения, описывающие процессы изменения уровня воды в башне. Линеаризацию проведем в рабочей точке при $z_0 = 6$ м, $Q_0 = 25$ м³/ч, $H_0 = 21$ м, $N_0 = 3.15$ кВт.

Получаем, что по управляющему воздействию водонапорная башня представляет собой апериодическое звено 1-го порядка [2]:

$$T \frac{d\Delta z}{dt} + \Delta z = K_1 N \quad (13)$$

где K_1 – коэффициент усиления, T – постоянная времени звена.

В работе рассматривается водонапорная башня Рожновского со следующими данными:

- объем резервуара 56 м³;
- диаметр резервуара 3020 мм;
- высота опоры 15 м.

С учетом числовых данных, получаем: $K_1 = 0.004$ м/с, $T = 92$ с.

По возмущающему воздействию получаем интегрирующее звено:

$$\frac{d\Delta z}{dt} = K_2 Q \quad (14)$$

где $K_2 = -1/S = -0.14$ м⁻² - коэффициент усиления, S - площадь поперечного сечения резервуара.

При использовании частотно-регулируемого привода управляющее воздействие формируется посредством ПИД-регулятора. Составим схему системы автоматического регулирования, включающую объект управления, ПИД-регулятор, электропривод, насос и датчик уровня (рисунок 3). Пренебрегая постоянными времени звеньев, которые малы по сравнению с постоянной времени объекта управления, можно приближенно считать электропривод, насос и датчик уровня усилительными

ми звеньями с коэффициентами пропорциональности, равными 0,9 (КПД) для электропривода, 0,9 (КПД) для насоса и 1 для датчика уровня.

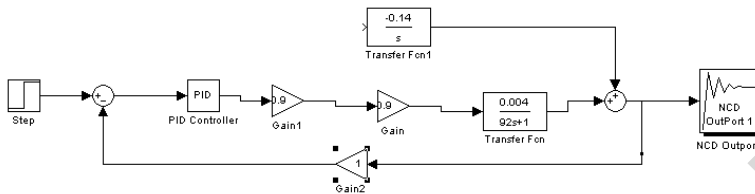


Рисунок 3. Модель системы стабилизации уровня в среде Simulink

Рассчитаем оптимальные параметры ПИД-регулятора (K_p , K_I и K_d) для системы стабилизации уровня воды в водонапорной башне с частотно-регулируемым приводом с использованием инструмента NCD Outport среды Simulink [3]. Получены следующие значения:

$$K_p = 130,5856; \quad K_I = 3,1812; \quad K_d = -0,7171. \quad (15)$$

При найденных значениях коэффициентов ПИД-регулятора обеспечивается требуемое качество регулирования в системе стабилизации уровня воды в водонапорной башне.

В работе рассмотрена система водоснабжения жилого поселка из артскважины. Произведено сравнение энергоэффективности различных схем водоснабжения: без использования водонапорной башни и с использованием водонапорной башни, для обеих схем рассмотрено применение частотно-регулируемого привода насоса. Расчеты производились на основе данных водопотребления жилого поселка за трое последовательных суток. Получено, что использование водонапорной башни позволяет экономить в среднем до 32,18% электроэнергии по сравнению с регулированием водоподдачи дросселированием в системе без промежуточных накопителей. Использование частотно-регулируемого привода позволяет экономить в среднем до 68,66% электроэнергии в схеме без водонапорной башни и до 53,88% электроэнергии при использовании водонапорной башни.

Для наиболее экономичной схемы водоснабжения жилого поселка (с использованием водонапорной башни и частотно-регулируемого привода) разработана структурная схема системы стабилизации уровня воды в баке. Определены оптимальные значения параметров ПИД-регулятора, позволяющие обеспечить высокое качество водоснабжения потребителей.

Список использованных источников

1. Лезнов Б. С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. М., Машиностроение, 2013.
2. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – СПб: Профессия. – 2003. – 747 с.
3. Дьяконов В. MATLAB6: Учебный курс - СПб., 2001.