

ГИДРАВЛИКА

Действительный член АН Арм. ССР И. В. ЕГИАЗАРОВ

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА В ОСОБЫХ  
УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦЕЛОЙ  
ГИДРОЭНЕРГОСИСТЕМЫ**

При моделировании целой энергосистемы выбор мощности модельных электростанций связан только одним условием: соотношение мощностей электростанций должно быть выдержано то же, что и в натуре, и мощность модели самой малой из моделируемых станций должна быть настолько велика, чтобы потери в измерительных приборах и регулирующих устройствах не могли влиять на результаты исследований.

Пределная величина модельных мощностей может быть принята произвольной и зависит от возможностей лаборатории по обеспечению необходимых электрических машин и от мощности трансформаторной и умформерной подстанции, которая может быть использована, а также от нагрузочных мощностей лаборатории, так как необходимо моделировать не только генерирующие мощности, но и нагрузку потребителя.

Исходя из этих соображений, например, для моделирования Армянской гидроэнергосистемы первоначально был принят масштаб мощностей  $\alpha_N = 4000$ , при этом станция № 1 должна была бы получить на модели мощность около 20 квт, станция № 2 5 квт и станция № 3 50 квт. Таким образом, эта модель, далеко еще не полная (по числу станций), потребовала бы наличия источника энергии больше 75 квт. Возможно, что в дальнейшем для модели более полной Армянской энергосистемы и для решения задач, связанных с объединением энергосистем Кавказа, окажется необходимым перейти к более мелкому масштабу мощностей, порядка  $\alpha_N = 10000$ .

Если задан масштаб мощности электростанций, то, следовательно, связаны между собой масштабы напора и расхода воды или масштабы напора, диаметра трубопровода и скорости течения в нем, так как

$$N = f(H, Q) = f(H, D, v) \quad (1)$$

и так как

$$\alpha_N = \alpha_H \alpha_Q = \alpha_H \alpha_D^2 \alpha_v. \quad (2)$$

Еще один масштаб моделирования определяется требованиями электрического моделирования энергосистемы — это масштаб времени.

Электродинамическое моделирование возможно при двух условиях: при сохранении для модели нормальной частоты (50 периодов в секунду), т. е. при  $\alpha_f = 1$  и, следовательно, при  $\alpha_t = 1$ , и при повышенной частоте, т. е. при  $\alpha_f > 1$  и, следовательно,  $\alpha_t > 1$ .

При моделировании с сохранением нормальной частоты, т. е. при  $\alpha_t = 1$ , все постоянные времени модели должны быть равны постоянным времени натуре.

Моделирование с сохранением на модели натурной частоты требует реконструкции стандартных фондовых электромашин малой мощности, так как их относительные электрические параметры резко отличаются от относительных параметров больших, натуральных, машин электрических станций <sup>(1)</sup>. Но, что очень существенно, такое моделирование с сохранением частоты допускает применение всех регулирующих приборов и устройств тех же, что в натуре, на действительных станциях.

Если моделирование осуществлять при повышенной частоте 300—400 в секунду, т. е. при  $\alpha_f > 1$  и  $\alpha_t > 1$ , требуется конструирование и изготовление специальных моделирующих электромашин. Эти машины более компактны и могут быть взяты меньшей мощности, чем при моделировании при натурной частоте, но модель получается более чувствительной к потерям в машинах, в соединениях, в измерительных и регулирующих устройствах. Кроме того необходимо специальное конструирование и изготовление всех регулирующих устройств, т. е. специальное моделирование автоматических регуляторов, еще большее увеличение их быстродействия.

Все лаборатории, начавшие динамическое моделирование энергосистем, ведут моделирование при  $\alpha_f = 1$  и, следовательно, при  $\alpha_t = 1$ .

При исследованиях на динамической модели гидроэнергосистемы или смешанной энергосистемы в гидравлической ее части наибольшее значение и наибольшее влияние на устойчивость работы имеет гидравлический удар, даже при отсутствии трубопровода, так как спиральная камера, турбина и всасывающая труба при малом напоре приводят также к большой постоянной времени. Все прочие явления в гидравлической части гидростанции имеют второстепенное значение или значение в особых специфических случаях <sup>(1)</sup>. Поэтому требует особого внимания и анализа вопрос моделирования гидравлического удара при условиях, когда необходимо постоянные времени сохранить для модели и натуре одинаковыми, т. е. при  $\alpha_t = 1$ .

Общие условия моделирования целой гидроэнергосистемы и возникающие при этом затруднения освещены автором в статье <sup>(1)</sup>.

Моделирование гидравлического удара при динамическом моделировании полной гидроэнергосистемы и при обеспечении масштаба времени  $\alpha_t = 1$  как в электрической, так и в гидравлической части.

В предыдущей статье <sup>(2)</sup> было показано, что гидравлическое моделирование гидравлического удара возможно при соблюдении двух критериев подобия: критерия трубопровода  $\rho$  и критерия закрытия (открытия)  $\theta$ , т. е. при удовлетворении критериального уравнения

$$\frac{H}{H_0} = f\left(\frac{av}{gH}, \frac{at}{x}\right) = f(\rho, \theta).$$

При этих условиях были получены безразмерные масштабные комплексы:

$$\alpha_\rho = \frac{\alpha_a \alpha_v}{\alpha_g \alpha_H} = 1, \quad (3)$$

$$\alpha_\theta = \frac{\alpha_a \alpha_t}{\alpha_x} = 1, \quad (4)$$

и критерии подобия:

$$\frac{av}{gH} = \text{idem}, \quad (5)$$

$$\frac{at}{x} = \text{idem}. \quad (6)$$

При новых условиях необходимо обеспечить не только  $\alpha_g = 1$ , но и  $\alpha_t = 1$ , т. е. получить

$$\frac{\alpha_a \alpha_v}{\alpha_n} = 1, \quad (7)$$

$$\frac{\alpha_a}{\alpha_x} = 1. \quad (8)$$

Если при этом сохранить и условие  $\alpha_a = 1$ , то потребуется обеспечить  $\alpha_x = 1$ , т. е. моделировать в натуральную величину, иначе говоря, не моделировать. Следовательно, при новых условиях моделирования должно быть  $\alpha_a > 1$ .

Не останавливаясь здесь на технических способах получения  $\alpha_a > 1$ , т. е.  $\alpha_m < \alpha_n$ , определим все условия моделирования при

$$\alpha_g = 1, \quad \alpha_t = 1,$$

т. е. при критериях:

$$\frac{av}{H} = \text{idem}, \quad (9)$$

$$\frac{a}{x} = \text{idem}. \quad (10)$$

При этих условиях

$$\alpha_a = \alpha_x, \quad (11)$$

$$\alpha_v = \frac{\alpha_n}{\alpha_a} \quad (12)$$

и должно быть соблюдено полученное выше условие (2), где  $\alpha_N$  определяется уже проанализированными условиями.

Если условиями лаборатории определена длина трубы, т. е. задан масштаб  $\alpha_x$ , то, следовательно, определен и масштаб  $\alpha_a$ , и из уравнения (12) определяется отношение  $\alpha_v / \alpha_n$ , а из уравнения (2) произведение  $\alpha_v \alpha_D^2$ .

Если по условиям, определяемым возможностями лаборатории, задан масштаб  $\alpha_n$ , то можно определить и  $\alpha_v$  и  $\alpha_D$ .

Таким образом, задача могла бы считаться решенной при искажении всех геометрических масштабов, т. е. при

$$\alpha_x \neq \alpha_n \neq \alpha_D \neq \alpha_s.$$

Но необходимо проверить, в какой мере удовлетворены те допущения, при которых получены (2) использованные нами критерии подобия. Первое допущение — это возможность пренебречь отношением  $v/a$  на модели по сравнению с единицей, т. е. пренебречь изменчивостью скоростного напора по длине трубы. Если удовлетворяться ошибкой в 2%, то, следовательно,

$$v_m < 0,02 \frac{\alpha_n}{\alpha_a}.$$

Если это условие окажется не удовлетворенным, то необходимо так варьировать или масштаб  $\alpha_n$ , или масштаб  $\alpha_x$ , или и тем и другим, чтобы условие было удовлетворено.

Второе допущение — это возможность пренебречь на модели потерями на трение. Этому условию значительно труднее удовлетворить, так как кроме потерь на трение в лабораторных условиях появляются еще и потери на местные сопротивления (колена, переходные участки). Учесть приближенно влияние увеличенного по сравнению с натурой трения в трубе на модели можно было бы при обработке осциллограммы удара построением линии сравнения (нулевой линии) на диа-

грамме удара с учетом полной потери установившегося движения до и после закрытия или открытия. Независимо от такой возможности корректирования нужно стремиться, чтобы суммарные потери установившегося движения не превысили на модели 5% от напора брутто модели, т. е. чтобы

$$\frac{4v^2 L}{C^2 D H} < 0,05.$$

Если такое приближение окажется недостаточным, то можно, произведя ряд экспериментов с прямым ударом на модели, до некоторой степени протарировать потери модели, так как случаи прямого удара легко параллельно рассчитать теоретически.

Таким образом, к ранее разработанному методу моделирования неустановившегося движения в открытых потоках с искажением масштаба по длине и с составлением комбинированной модели из искаженных и неискаженных элементов (<sup>3,4</sup>) добавляется возможность искажения масштаба по длине, по напору и по диаметру также без искажения поперечного сечения водотока для моделирования неустановившегося движения в напорных трубопроводах с учетом влияния и волновых явлений.

Водно-энергетический институт  
Академии наук Арм.ССР

Поступило  
23 VII 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> И. В. Егиазаров, Изв. АН Арм. ССР, № 1 (1953). <sup>2</sup> И. В. Егиазаров, ДАН, 92, № 3 (1953). <sup>3</sup> И. В. Егиазаров, Изв. ВНИИГ, 21 (1937); Гидротехническое строительство, №№ 6 и 7—8 (1937). <sup>4</sup> И. В. Егиазаров, Изв. АН Арм. ССР, № 3 (1947).