Ó×ÅÒ ÂËÈßÍÈß ÑÊÀËÜÍÎÃÎ ÎÑÍÎÂÀÍÈß ÍÀ ÔÎÐÌÛ È ÏÅÐÈÎÄÛ ÑÎÁÑÒÂÅÍÍÛÕ ÊÎËÅÁÀÍÈÉ ÌÀÑÑÈÂÍÎ-ÊÎÍÒÐÔÎÐÑÍÛÕ ÃÐÀÂÈÒÀÖÈÎÍÍÛÕ ÏËÎÒÈÍ

Ðàññêàçîâ Ë.Í., Íãóåí Íãîê Òõàíã (ÌÃÑÓ)

Â íàñòîÿùåå âðåìÿ âî ìíîãèõ ñåéñìè÷åñêè àêòèâíûõ ðàéîíàõ ïðîåêòèðóåòñÿ èëè âîçâîäÿòñÿ ãèäðîòåõíè÷åñêèå ñîîðóæåíèÿ, â òîì ÷èñëå ïëîòèíû. Ê òàêèì îòâåòñòâåííûì ñîîðóæåíèÿì ïðåäúÿâëÿþòñÿ ïîâûøåííûå òðåáîâàíèÿ òàê êàê èõ ðàçðóøåíèå ìîæåò ïðèâåñòè ê êàòàñòðîôè÷åñêèì ïîñëåäñòâèÿì. Ðàñ÷åò è îáåñïå÷åíèå ñåéñìîñòîéêîñòè ãèäðîòåõíè÷åñêèõ ñîîðóæåíèé, â ÷àñòíîñòè ïëîòèí ÿâëÿþòñÿ ñëîæíîé çàäà÷åé, ïîñêîëüêó îíà âêëþ÷àåò â ñåáÿ ìíîãî÷èñëåííûå è ðàçíîîáðàçíûå âîïðîñû: ðàñïðîñòðàíåíèå è âçàèìîäåéñòâèå ñ ñîîðóæåíèåì âîëí â çåìíîé êîðå ïðè çåìëåòðÿñåíèè; âçàèìîäåéñòâèå ïëîòèí ïðè êîëåáàíèÿõ ñ ãðóíòîì îñíîâàíèÿ è âîäíîé ñðåäîé; ÷èñëåííîå ðåøåíèå çàäà÷è ïî îïðåäåëåíèþ äèíàìè÷åñêèõ õàðàêòåðèñòèê ïëîòèí; îöåíêó ïðî÷íîñòè ïðè ñåéñìè÷åñêîì âîçäåéñòâèè è äð.

Äàííàÿ ñòàòüÿ ïîñâÿùåíà îïðåäåëåíèþ äèíàìè÷åñêèõ õàðàêòåðèñòèê (ôîðì è ïåðèîäîâ ñîáñòâåííûõ êîëåáàíèé) áåòîííûõ ãðàâèòàöèîííûõ è ìàññèâíî-êîíòðôîðñíûõ ïëîòèí. Ïðè ýòîì çàòðîíóò âîïðîñ ó÷åòà âçàèìîäåéñòâèÿ ïëîòèí ñî ñêàëüíûì îñíîâàíèåì.

Ëþáàÿ áåòîííàÿ ïëîòèíà êàê óïðóãàÿ ïðîñòðàíñòâåííàÿ ñèñòåìà ñ íåîïðåäåëåííî ðàñïðåäåëåííîé ìàññîé èìååò áåñêîíå÷íîå ÷èñëî ñòåïåíåé ñâîáîäû. Ïðè êîëåáàíèÿõ îíà îêàçûâàåòñÿ ïîäâåðæåííîé äèíàìè÷åñêèì íàãðóçêàì è èñïûòûâàåò äåôîðìàöèè îñåâûå (ñæàòèå-ðàñòÿæåíèå), èçãèáà, ñäâèãà è êðó÷åíèÿ. Ðàñêà÷êà ñîîðóæåíèÿ èëè åãî ñåêöèé, îãðàíè÷åííûõ øâàìè, âûçûâàåòñÿ ñåéñìè÷åñêèìè äâèæåíèÿìè îñíîâàíèÿ. Ïî îòíîøåíèþ ê ýòèì âíåøíèì äâèæåíèÿì ïëîòèíà ïðîÿâëÿåò ñåáÿ êàê ôèëüòð – âûíóæäåííûå êîëåáàíèÿ ñîîðóæåíèÿ ïðîèñõîäÿò ñ ÷àñòîòàìè, áëèçêèìè ê ÷àñòîòàì åãî ñîáñòâåííûõ êîëåáàíèé. Êàæäîé ÷àñòîòå ñîáñòâåííûõ êîëåáàíèé ïëîòèíû ñîîòâåòñòâóåò îïðåäåëåííàÿ ôîðìà åå êîëåáàíèé. Ôîðìû è ÷àñòîòû ñîáñòâåííûõ êîëåáàíèé ïëîòèíû è èõ ýëåìåíòîâ (ñåêöèé, êîíòðôîðñîâ, ïåðåêðûòèé) îïðåäåëÿþòñÿ äèíàìè÷åñêèì ðàñ÷åòîì ýòèõ ñîîðóæåíèé èëè ýêñïåðèìåíòàëüíî íà ìîäåëÿõ. [1]

Ïîëó÷èòü ôîðìû è ïåðèîäû êàê ïðîäîëüíûõ, òàê è ïîïåðå÷íûõ óïðóãèõ ñîáñòâåííûõ êîëåáàíèé ñåêöèè ýòèõ ïëîòèí ìîæíî ýêñïåðèìåíòàëüíî ñ ïîìîùüþ ðåçîíàíñíîãî ìåòîäà. Ýòèì ìåòîäîì íà êàôåäðå Ãèäðîòåõíè÷åñêèõ ñîîðóæåíèé ÌÈÑÈ èì. Â. Â. Êóéáûøåâà áûëè èññëåäîâàíû äèíàìè÷åñêèå õàðàêòåðèñòèêè (ôîðìû è ïåðèîäû ñîáñòâåííûõ êîëåáàíèé) ðÿäà âàðèàíòîâ ìàññèâíî-êîíòðôîðñíûõ è ãðàâèòàöèîííûõ ïëîòèí. Ðåçóëüòàòû ýòèõ èññëåäîâàíèé, ïðîâåäåííûõ Ï.È. Ãîðäèåíêî è ÃÝ. Øàáëèíñêèì ïðåäñòàâëåíû â [1].

Ïðè èñïîëüçîâàíèè ïðèâåäåííûõ â òàáëèöå è íà ðèñóíêàõ ïåðèîäîâ è ôîðì ñîáñòâåííûõ ïðîäîëüíûõ è ïîïåðå÷íûõ êîëåáàíèé íàäî ó÷èòûâàòü, ÷òî îíè ïîëó÷åíû äëÿ ñëó÷àÿ îïîðîæíåííîãî âîäîõðàíèëèùà (áåç èíåðöèîííîãî âëèÿíèÿ âîäû) è îòíîñÿòñÿ òîëüêî ê èññëåäîâàííûì êîíñòðóêòèâíûì âàðèàíòàì ñåêöèè îïðåäåëåííûõ ðàçìåðîâ [1]. Äëÿ êàæäîãî âàðèàíòà áûëè ïðèíÿòû: âûñîòà ïëîòèíû H=100ì, ìîäóëü óïðóãîñòè áåòîíà $E=250\cdot10^5$êÍ/ì^2), ïëîòíîñòü áåòîíà $\rho=24$êÍ/ì^3, êîýôôèöèåíò Ïóàññîíà $\mu=0,16$-

0,2. Îñíîâàíèå ïëîòèíû æåñòêîå $Å_0$>>$Å_{ïë}$. Ôîðìû êîëåáàíèé ïðåäñòàâëåíû â íîðìèðîâàííîì âèäå, ò.å. îò âûñîòû ïëîòèíû íå çàâèñÿò ([1], ðèñ. 2.12.). Äëÿ èññëåäîâàííûõ ïëîòèí ïðåäñòàâëåíû 4 ôîðìû ïîïåðå÷íûõ è 3 ôîðìû ïðîäîëüíûõ êîëåáàíèé ìàññèâíî-êîíòðôîðñíûõ è ãðàâèòàöèîííûõ ïëîòèí ñ óêàçàíèåì âåëè÷èíû ïåðèîäîâ ñîáñòâåííûõ êîëåáàíèé. Ïî ìíåíèþ àâòîðîâ ýêñïåðèìåíòîâ, ñîáñòâåííûå êîëåáàíèÿ ñåêöèé áåòîííûõ ïëîòèí ïðè $Å_0$=$Å_{ïë}$ ìàëî îòëè÷àþòñÿ îò èõ êîëåáàíèé ïðè $Å_0$>>$Å_{ïë}$. Èññëåäîâàíèÿ òàêæå ïîêàçàëè, ÷òî ïîïàðíîå îáúåäèíåíèå (îìîíîëè÷èâàíèå) êîíòðôîðñîâ ìàññèâíî-êîíòðôîðñíûõ ïëîòèí ñóùåñòâåííî ïîâûøàåò èõ ñåéñìîñòîéêîñòü, òàê êàê ñíèæàåò íàïðÿæåíèÿ îò ñåéñìè÷åñêèõ íàãðóçîê â 2-2,5 ðàçà. Ïðè òàêîì îáúåäèíåíèè ðåçêî èçìåíÿþòñÿ äèíàìè÷åñêèå õàðàêòåðèñòèêè ñîîðóæåíèÿ ïðè ïîïåðå÷íûõ êîëåáàíèÿõ.

Äëÿ ñðàâíåíèÿ ñ ðåçóëüòàòàìè âûøåèçëîæåííûõ ýêñïåðèìåíòàëüíûõ èññëåäîâàíèé àâòîðàìè ñòàòüè áûëè ïðîèçâåäåíû ðàñ÷åòû ôîðì è ïåðèîäîâ ñîáñòâåííûõ êîëåáàíèé ðÿäà ìàññèâíî-êîíòðôîðñíûõ è ãðàâèòàöèîííûõ ïëîòèí íà ÝÂÌ ìåòîäîì êîíå÷íûõ ýëåìåíòîâ â ïðîñòðàíñòâåííîé ïîñòàíîâêå. Ïðè ýòîì ïðèìåíåíà ïðîãðàììà ðàñ÷åòà Seismic, ñîñòàâëåííàÿ àâòîðàìè íà ÿçûêå Delphi ñ ïðèìåíåíèåì âîñüìèóçëîâûõ ïðîñòðàíñòâåííûõ ýëåìåíòîâ. Èñïîëüçîâàííûå äàííûå î ðàçìåðàõ ñåêöèé, ôèçèêî-ìåõàíè÷åñêèõ õàðàêòåðèñòèêàõ áåòîíà ïëîòèíû áûëè âçÿòû òî÷íî òàêèìè æå, êàêèìè ïîëüçîâàëèñü Ï.È. Ãîðäèåíêî è ÃÝ. Øàáëîâñêèé â ñâîèõ èññëåäîâàíèÿõ. Â îòëè÷èå îò ýêñïåðèìåíòàëüíûõ èññëåäîâàíèé ÷èñëåííûé ðàñ÷åò ó÷èòûâàåò âëèÿíèå ïîäàòëèâîñòè îñíîâàíèÿ íà äèíàìè÷åñêèå õàðàêòåðèñòèêè (ôîðìû è ïåðèîäû ñîáñòâåííûõ êîëåáàíèé) áåòîííûõ ïëîòèí è ó÷åò èíåðöèîííîãî âëèÿíèÿ âîäû. Ðåçóëüòàòû ðàñ÷åòîâ íà ÝÂÌ ïîëó÷åíû äëÿ ñëó÷àÿ íàïîëíåííîãî âîäîõðàíèëèùà. Ðàñ÷åòíîé àêñåëåðîãðàììîé â êîìïüþòåðíîé ïðîãðàììå ÿâëÿåòñÿ àêñåëåðîãðàììà Ïàðêôèëä.

Îñîáåííîñòüþ ðàñ÷åòà, êîòîðàÿ ïðîñòðàíñòâåííîé ïîñòàíîâêè, ÿâëÿåòñÿ ó÷åò ïîäàòëèâîñòè îñíîâàíèÿ è ïðèñîåäèíåííîé ìàññû âîäû, ÷òî óòî÷íÿåò ðàñ÷åò è ïðèâîäèò ê áîëåå ýêîíîìè÷íîìó ïðîåêòèðîâàíèþ ñîîðóæåíèé. Áûëè èññëåäîâàíû 30 ïåðâûõ ôîðì ñîáñòâåííûõ êîëåáàíèé áåòîííûõ ïëîòèí ðàçíûõ êîíñòðóêòèâíûõ âàðèàíòîâ (ìàññèâíî-êîíòðôîðñíûõ è ãðàâèòàöèîííûõ, ñ è áåç íèçîâûõ êîíñîëåé, îäèíî÷íûõ è ñïàðåííûõ ñåêöèé, è ò.ä.).

Ðàñ÷åò ôîðì è ïåðèîäîâ ñîáñòâåííûõ êîëåáàíèé ìàññèâíî-êîíòðôîðñíûõ è ãðàâèòàöèîííûõ ïëîòèí ïðîèçâåäåí ñ ó÷åòîì âëèÿíèÿ îñíîâàíèÿ ñ ðàçíûìè ìîäóëÿìè óïðóãîñòè. Â ðàìêàõ äàííîé ñòàòüè ïðèâåäåíû ðåçóëüòàòû ðàñ÷åòà ÷àñòîò êîíñòðóêòèâíûõ âàðèàíòîâ ïëîòèíû ïðè ìîäóëå óïðóãîñòè îñíîâàíèÿ $Å_0$ ðàâíûì $50 \cdot 10^5$ êÍ/ì^2, $150 \cdot 10^5$ êÍ/ì^2 è $1 \cdot 10^8$ êÍ/ì^2. Â îòëè÷èå îò ýêñïåðèìåíòàëüíûõ èññëåäîâàíèé, êîòîðûå íå ó÷èòûâàëè âëèÿíèÿ îñíîâàíèÿ, ñ÷èòàÿ åãî î÷åíü æåñòêèì, ïðè ÷èñëåííîì ðàñ÷åòå â ðàñ÷åòíóþ îáëàñòü áûëè âêëþ÷åíû ñåêöèÿ áåòîííîé ïëîòèíû è îáëàñòü ñêàëüíîãî îñíîâàíèÿ ãëóáèíîé 200 ìåòðîâ. Ðàññòîÿíèÿ îò êðàåâ ýòîé îáëàñòè äî ïîäîøâû ïëîòèíû ïî ãîðèçîíòàëè ïîïåðåê ñòâîðà ñîñòàâëÿþò 200 ìåòðîâ, íî èç-çà ãåîìåòðè÷åñêèõ îãðàíè÷åíèé, íà ðèñóíêàõ ïîêàçàíû ôîðìû êîëåáàíèÿ ïëîòèíû è îñíîâàíèÿ òîëüêî â ïðåäåëàõ ïëîòèíû. Íà ðèñóíêàõ ïîêàçàíû 4 ôîðìû ñîáñòâåííûõ ïîïåðå÷íûõ è 4 ôîðìû ñîáñòâåííûõ ïðîäîëüíûõ êîëåáàíèé ñ óêàçàíèåì âåëè÷èíû ïåðèîäà ñîîòâåòñòâóþùèõ ñîáñòâåííûõ êîëåáàíèé. Ïîñêîëüêó çàäà÷à ðåøàëàñü â ïðîñòðàíñòâåííîé ïîñòàíîâêå, áûëè ïîêàçàíû òîëüêî «÷èñòûå» ïîïåðå÷íûå è ïðîäîëüíûå ôîðìû ñîáñòâåííûõ êîëåáàíèé. Ìåæäó ýòèìè «÷èñòûìè» ôîðìàìè èìåþò ìåñòà ñìåøàííûå ôîðìû, êîòîðûå ïîâëåêàþò çà ñîáîé ñìåøàííûå äåôîðìàöèè (èçãèáíûå è ñæèìàþùèå, êðóòèëüíûå è ðàñòÿãèâàþùèå, è ò.ä.). «×èñòûå» ôîðìû ïîçâîëÿþò ðåøàòü ïëîñêèå çàäà÷è.

Íà ðèñóíêàõ ïðåäñòàâëåíû ðåçóëüòàòû ÷èñëåííîãî ðåøåíèÿ çàäà÷è äëÿ ïëîòèí ÷åòûðåõ êîíñòðóêòèâíûõ âàðèàíòîâ. Â êà÷åñòâå ïðèìåðà äëÿ àíàëèçà ðàññìîòðèì èõ îñíîâíîé òîí ñîáñòâåííûõ êîëåáàíèé. Íà ðèñ.1 è ðèñ.2 ïîêàçàíû ôîðìû è ïåðèîäû ñîáñòâåííûõ êîëåáàíèé ãðàâèòàöèîííîé ïëîòèíû è îäíîé ìàññèâíî-êîíòðôîðñíîé ïëîòèíû ñ íèçîâûìè êîíñîëÿìè ïðè íàïîëíåííîì âîäîõðàíèëèùå. Ïåðèîä îñíîâíîãî òîíà ïðè ìîäóëå óïðóãîñòè îñíîâàíèÿ $Å0=50·10^5$ êÍ/ì ^{2} ñîñòàâëÿåò 0,85ñ (äëÿ ãðàâèòàöèîííîé ïëîòèíû) è 0,55203ñ (äëÿ îäíîé ìàññèâíî-êîíòðôîðñíîé ïëîòèíû ñ íèçîâûìè êîíñîëÿìè); ïðè $Å_0=150·10^5$ êÍ/ì ^{2} – ñîîòâåòñòâåííî 0,4994ñ è 0,32362ñ; ïðè $Å_0=1·10^8$ êÍ/ì ^{2} – ñîîòâåòñòâåííî 0,20107ñ è 0,13903ñ. Ýòî çíà÷èò, ÷òî ïðè óâåëè÷åíèè âåëè÷èíû ìîäóëÿ óïðóãîñòè îñíîâàíèÿ ïåðèîä ñîáñòâåííûõ êîëåáàíèé óìåíüøàåòñÿ, ÷òî âïîëíå ñîîòâåòñòâóåò òåîðèè êîëåáàíèÿ. Äëÿ ñðàâíåíèÿ, ïåðèîä îñíîâíîãî òîíà, ïî ðåçóëüòàòàì ýêñïåðèìåíòàëüíûõ èññëåäîâàíèé Ï.È. Ãîðäèåíêî è Ã.Ý. Øàáëèíñêîãî, ñîñòàâëÿåò 0,65ñ (äëÿ ãðàâèòàöèîííîé ïëîòèíû) è 0,54ñ (äëÿ îäíîé ìàññèâíî-êîíòðôîðñíîé ïëîòèíû ñ íèçîâûìè êîíñîëÿìè) ïðè îïîðîæíåííîì âîäîõðàíèëèùå.

Íà ðèñ.3 è ðèñ.4 ïîêàçàíû ôîðìû è ïåðèîäû ñîáñòâåííûõ êîëåáàíèé ñïàðåííîé ìàññèâíî-êîíòðôîðñíîé ïëîòèíû áåç íèçîâûõ êîíñîëåé è ñïàðåííîé ñåêöèè ãðàâèòàöèîííîé ïëîòèíû ñ íèçîâûìè êîíñîëÿìè è ïðè íàïîëíåííîì âîäîõðàíèëèùå. Ïåðèîä îñíîâíîãî òîíà ïðè ìîäóëå óïðóãîñòè îñíîâàíèÿ $Å_0=50·10^5$ êÍ/ì ^{2} ñîñòàâëÿåò 0,45083ñ (äëÿ ïëîòèíû ïåðâîãî òèïà) è 0,45856ñ (ïëîòèíû âòîðîãî òèïà); ïðè $Å_0=150·10^5$ êÍ/ì ^{2} – ñîîòâåòñòâåííî 0,26689ñ è 0,2707ñ; ïðè $Å_0=1·10^8$ êÍ/ì ^{2} – ñîîòâåòñòâåííî 0,1234ñ è 0,11244ñ. Ïî ðåçóëüòàòàì ýêñïåðèìåíòàëüíûõ èññëåäîâàíèé Ï.È. Ãîðäèåíêî è Ã.Ý. Øàáëèíñêîãî, ïåðèîä îñíîâíîãî òîíà ñîñòàâëÿåò 0,65ñ (äëÿ ïëîòèíû ïåðâîãî òèïà) è 0,32ñ (ïëîòèíû âòîðîãî òèïà). Ðàñ÷åò òàêæå ïîêàçàë, ÷òî âåëè÷èíû ïåðèîäîâ ñîáñòâåííûõ êîëåáàíèé ñïàðåííîé ñåêöèè ïëîòèí ìåíüøå ÷åì â ñëó÷àå îäèíî÷íîé ñåêöèè íà 30~35%.

Ñðàâíèâàÿ ðåçóëüòàòû, ïîëó÷åííûå ïðè ýêñïåðèìåíòàëüíûõ èññëåäîâàíèÿõ è ðàñ÷åòå íà ÝÂÌ ìåòîäîì êîíå÷íûõ ýëåìåíòîâ, ìîæíî ñäåëàòü ñëåäóþùèå âûâîäû:

1. Ðàññìîòðåíèÿ êîíñòðóêöèé â ïðîñòðàíñòâåííîé ïîñòàíîâêå äàþò áîëåå òî÷íîå ïðåäñòàâëåíèå îá èõ ðàáîòå â ðåàëüíîñòè.
2. Âåëè÷èíû ïåðèîäîâ îñíîâíîãî òîíà ñîáñòâåííûõ êîëåáàíèé ïðè ðàñ÷åòå íà ÝÂÌ ñóùåñòâåííî îòëè÷àþò îò òåõ, ïîëó÷åííûõ ïðè ýêñïåðèìåíòàõ â ñèëó íåêîòîðîé íåîïðåäåëåííîñòè â ñâîéñòâàõ îñíîâàíèÿ.

Рис.1. ФОРМЫ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ГРАВИТАЦИОННОЙ ПЛОТИНЫ

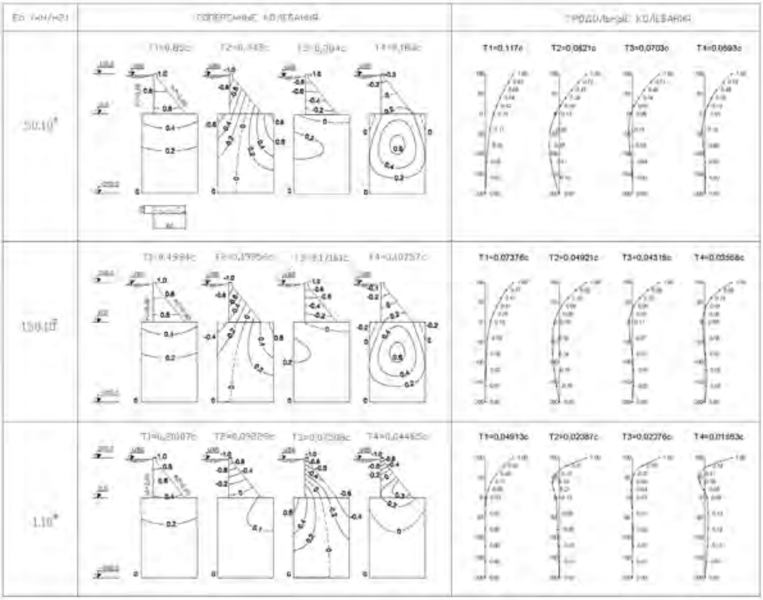

Eб (кН/м2)
ПОПЕРЕЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ
ПРОДОЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ
50.10⁴
T1=0,85c
T2=0,343c
T3=0,204c
T4=0,164c
T1=0,117c
T2=0,0821c
T3=0,0703c
T4=0,0593c
150.10⁴
T1=0,4994c
T2=0,19956c
T3=0,17161c
T4=0,10757c
T1=0,07376c
T2=0,04921c
T3=0,04316c
T4=0,03568c
1.10⁴
T1=0,20107c
T2=0,09229c
T3=0,07308c
T4=0,04465c
T1=0,04913c
T2=0,02387c
T3=0,02276c
T4=0,01863c

Рис.2. ФОРМЫ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ОДИНОЧНОЙ МАССИВНО-КОНТРФОРСНОЙ ПЛОТИНЫ С ПОЛЫМИ КОНСОЛЯМИ

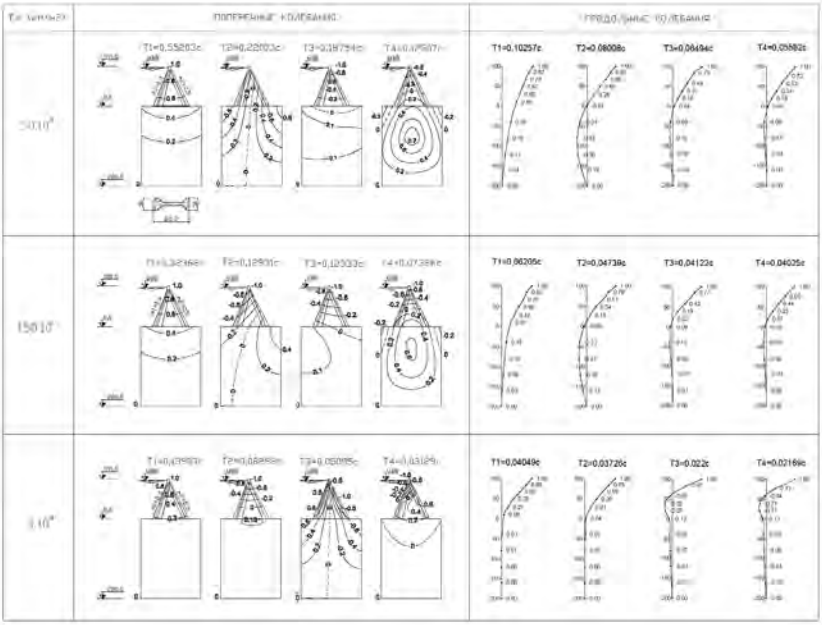

Eб (кН/м2)
ПОПЕРЕЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ
ПРОДОЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ
50.10⁴
T1=0,55203c
T2=0,22003c
T3=0,19754c
T4=0,17507c
T1=0,10257c
T2=0,08008c
T3=0,06494c
T4=0,05582c
150.10⁴
T1=0,32466c
T2=0,12901c
T3=0,12303c
T4=0,07389c
T1=0,06205c
T2=0,04739c
T3=0,04123c
T4=0,04025c
1.10⁴
T1=0,43907c
T2=0,08858c
T3=0,05085c
T4=0,03129c
T1=0,04049c
T2=0,03726c
T3=0,022c
T4=0,02169c

Рис.3. Формы собственных колебаний спаренной массивно-контрфорсной плотины без низовых консолей

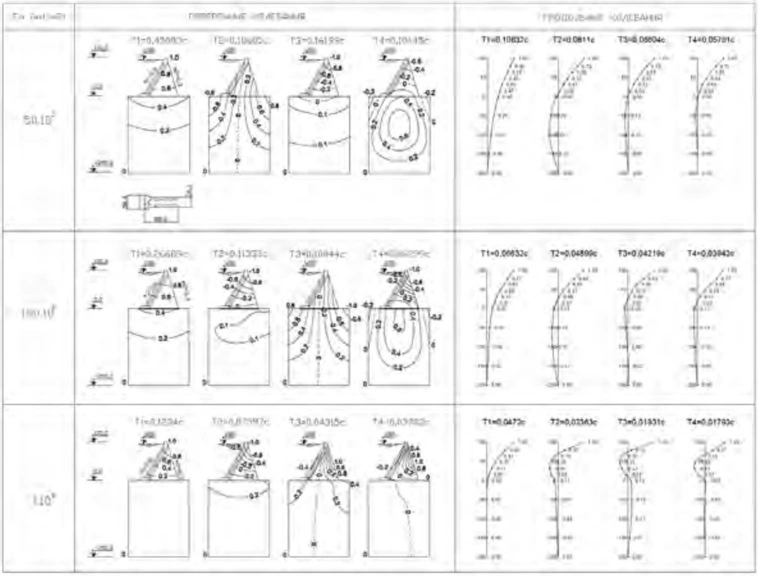
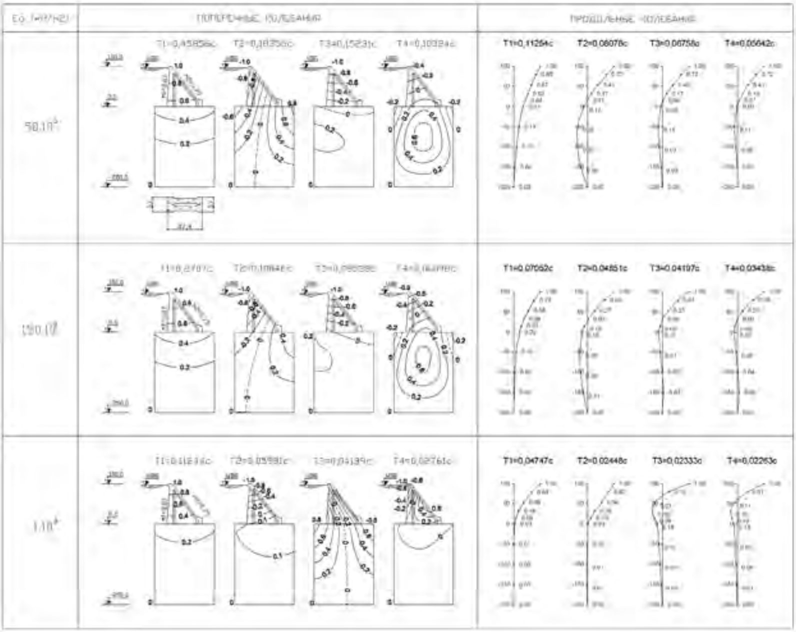

ПОПЕРЕЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ
ПРОДОЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ
T1=0,10632c
T2=0,0811c
T3=0,06604c
T4=0,05781c
T1=0,06632c
T2=0,04899c
T3=0,04219c
T4=0,03943c
T1=0,0473c
T2=0,03363c
T3=0,01931c
T4=0,01793c

Рис.4. Формы собственных колебаний гравитационной плотины с низовыми консолями (спаренная секция)


ПОПЕРЕЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ
ПРОДОЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ
T1=0,45856c
T2=0,18356c
T3=0,15231c
T4=0,10334c
T1=0,11254c
T2=0,08078c
T3=0,06758c
T4=0,05642c
T1=0,07052c
T2=0,04851c
T3=0,04197c
T4=0,03438c
T1=0,04747c
T2=0,02448c
T3=0,02333c
T4=0,02263c

3. Ïðè ðåøåíèè çàäà÷è â ïëîñêîé ïîñòàíîâêå, ôîðìû ñîáñòâåííûõ ïðîäîëüíûõ êîëåáàíèé ïîêàçàëè, ÷òî ÷èñëî ïåðåñå÷åíèé êðèâîé êîëåáàíèÿ ñ âåðòèêàëüíîé îñüþ ïëîòèíû âñåãäà íà åäèíèöó ìåíüøå íîìåð ôîðìû êîëåáàíèÿ (íàïðèìåð, ïðè òðåòüåé ôîðìå, ÷èñëî ïåðåñå÷åíèé ðàâíî k=3-1=2). Íî â ïðîñòðàíñòâåííîé ïîñòàíîâêå, òàêîãî óñëîâèÿ, âèäèìî, íå ñóùåñòâóåò.

4. Ïðè ðîñòå ìîäóëÿ óïðóãîñòè îñíîâàíèÿ $Å_0$, âåëè÷èíû ïåðèîäîâ ñîáñòâåííûõ êîëåáàíèé óìåíüøàþòñÿ è íàîáîðîò. Ýòî ëèøíèé ðàç ïîäòâåðæäàåò âûâîäû, ÷òî ïî ìåðå âîçðàñòàíèÿ æåñòêîñòè êîíñòðóêöèè, åå ïåðèîäû ñîáñòâåííûõ êîëåáàíèé óáûâàþò è íàîáîðîò.

Ðàñ÷åò ôîðì è ïåðèîäîâ ñîáñòâåííûõ êîëåáàíèé ìàññèâíî-êîíòðôîðñíûõ è ãðàâèòàöèîííûõ ïëîòèí ñ ó÷åòîì ïîäàòëèâîñòè îñíîâàíèÿ íà ÝÂÌ ìåòîäîì êîíå÷íûõ ýëåìåíòîâ ïîêàçàë, ÷òî ñåéñìîñòîéêîñòü ãèäðîòåõíè÷åñêèõ ñîîðóæåíèé ÿâëÿåòñÿ î÷åíü ñëîæíûì âîïðîñîì. Äëÿ ïîëó÷åíèÿ áîëåå òî÷íûõ ñâåäåíèé î ðàáîòå ïëîòèíû ïðè ñåéñìè÷åñêîì âîçäåéñòâèè íà ïðåäâàðèòåëüíîé ñòàäèè ïðîåêòèðîâàíèÿ òðåáóåòñÿ çíàíèå ôîðì è ïåðèîäîâ ñîáñòâåííûõ êîëåáàíèé ïëîòèí ñ ó÷åòîì ôèçèêî-ìåõàíè÷åñêèõ õàðàêòåðèñòèê îñíîâàíèÿ è ïðè íàïîëíåííîì âîäîõðàíèëèùå. Äëÿ ñëó÷àÿ ãðàâèòàöèîííûõ è êîíòðôîðñíûõ ïëîòèí ìîæíî âîñïîëüçîâàòüñÿ ïðåäñòàâëåííûìè ãðàôèêàìè.

Ñïèñîê ëèòåðàòóðû

1. À.Ë. Ãîëüäèí, Ë.Í. Ðàññêàçîâ. Ïðîåêòèðîâàíèå ãðóíòîâûõ ïëîòèí. Ì.: Èçäàòåëüñòâî ÀÑÂ, 2001.
2. Ì.Ì. Ãðèøèí, Í.Ï. Ðîçàíîâ, Ë.Ä. Áåëûé è äð. Áåòîííûå ïëîòèíû (íà ñêàëüíûõ îñíîâàíèÿõ). Ì.: Ñòðîéèçäàò, 1974.
3. È.À. Êîíñòàíòèíîâ. Äèíàìèêà ãèäðîòåõíè÷åñêèõ ñîîðóæåíèé. ×àñòü 2. Ðàñ÷åò ïëîòèí íà ñåéñìè÷åñêèå âîçäåéñòâèÿ. ËÏÈ èìåíè Ì.È. Êàëèíèíà, 1976.